

ARAŞTIRMA MAKALESİ



Adakale'nin Saklı Türkülerinin Markov Zinciri Tabanlı Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması*

Cenk GÜRAY**

Duygu GÜVENER***

Şule YILDIZ****

Özet

Balkan coğrafyası, bu toprakları paylaşan farklı kültürlerin bir arada yaşadığı ortak bir kültür alanı oluşturmaktadır. Tuna'nın tarihi ve siyasi geçmişine tanıklık etmiş küçük bir ada olan Adakale, 1970 yılında Yugoslavya ve Romanya hükümetlerinin aldığı kararla bir barajın kurulması sonucu sahip olduğu kültürel hazinesi ile birlikte Tuna'nın suları altında kalmış ve haritadan silinmiştir.

Bu çalışma, stokastik analiz tekniklerinin temel oluşturduğu Markov Zincirleri'ni kullanarak saklı Adakale türkülerinin yeniden canlandırarak bu bölgenin kültür mirasını korumayı ve ortak hafızaya aktarmayı hedeflemektedir. İlk olarak Adakale'yi merkez alan coğrafya ile ilgili daha önce yapılmış derleme çalışmalarından yararlanarak, bölgede en çok kullanılan makam yapıları, temel ezgisel motifler ve ritim yapıları üzerinde çalışılmıştır. Ardından, sözü olup ezgisi bulunmayan eserler için Markov zinciri ile ezgi üretimi yapılmış; seçilen bir ritmik yapı üstüne üretilen ezginin yerleştirilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adakale, Markov zincirleri, algoritmik kompozisyon, yeniden yapılandırma, polinom regresyon.

* Makale Geliş Tarihi: 20 Kasım 2023 Makale Kabul Tarihi: 28 Aralık

Bu çalışma, "122G016" nolu ve "Adakale'nin Saklı "Türkülerinin" Yapay Zeka (Makine Öğrenme) Yöntemleriyle Yeniden Tasavvur Edilmesi ve Yapılandırılması" başlıklı TÜBİTAK projesi kapsamında hazırlanmıştır.

**Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi, cenk.guray@hacettepe.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9410-725X

***Doktora öğrencisi, Hacettepe Üniversitesi, duyguguvener@hacettepe.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6673-5614

****Doktora öğrencisi, Erciyes Üniversitesi, 4040340037@erciyes.edu.tr, ORCID:0000-0002-4399-395X

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

Reconstruction of Adakale's Hidden Songs Through Markov Chain-Based Stochastic Method

Abstract

The Balkan geography constitutes a common culture area when different cultures that share these lands live together. Adakale, a little insular that witnessed the historical and political post of the Danube with its cultural treasure and disappeared from a map as a result of the construction of a dam in 1970 with the decision taken by the governments of Yugoslavia and Romania.

This study aims to conserve the cultural heritage of this region and transfer it to the collective memory by reviving the hidden Adakale folk songs using Markov Chains based on stochastic analysis techniques. Firstly, by making use of previous compilations on the geography centered on Adakale, the most commonly used makam structures, basis melodic motifs and rhythm structures in the region were studied. Then, a Markov chain was used to generate melodies for works with lyrics but no tune and the melody was placed on a selected rhythmic structure.

Keywords: Adakale, Markov chains, algorithmic composition, reconstruction, polynomial regression.

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

Giriş

Müziğin insanın düşünce üretim alanı olarak görülmesi ve ezgisel ve ritmik üretimlerin bu düşünce üretiminin önemli çıktıları olarak addedilmesi çok eski yıllardan beri sanat ve kültür insanlarını dikkatini çekmiştir. Bu konuyla ilgili çalışmalar tarihin her safhasında devam etmiştir. Guido D'Arezzo, 1026 yılında "Micrologus" adlı kitabında sözlere bağlı olarak notaları üretmeyi amaçlayan bir besteleme yöntemi kullanarak, müzikte algoritmik kompozisyon çalışmalarının en eski örneklerinden birini oluşturmuştur (Yalçınkaya, 2004:13).

Bunun yanında modern müzikolojinin kurulmasıyla beraber geleneksel müzik ürünlerinin toplumsal hafızanın en önemli kısımlarından biri olduğu bilinciyle yapılan çalışmalar, bu ürünlerin teorik ve kültürel altyapıları aracılığıyla toplumların geçmişlerine ışık tutabileceği fikrini güçlendirmiştir. Tuna nehri üzerindeki çoğunluğu Türklerden oluşan Adakale'nin geleneksel müzik kültürü, Romanya ve Sırbistan arasında çok kültürlü bir yaşamı temsil etmesiyle, o bölgedeki toplumların ortak geçmişlerine ışık tutabilecek bir imkana sahiptir. 1970 yılında bir baraj inşa edilmesi nedeniyle Osmanlı İmparatorluğunun Tuna boylarındaki son hatırası olan Adakale, sular altında kalmıştır.

Bu çalışma, Adakale'nin saklı türkülerinin tekrar yapılandırılmasıyla Balkanlardaki çok kültürlü ortak hafızanın canlandırılarak gelecekteki ortak yaşam kültürünün zemininin oluşmasına katkı yapmaya çalışmaktadır. TÜBİTAK 3005-Sosyal ve Beşerî Bilimlerde Yenilikçi Çözümler Araştırma Destek Programı tarafından desteklenen 122G016 numaralı bu proje, Adakale ve çevresinde saklı kalmış seslerin makine öğrenme yöntemleriyle yeniden yapılandırılmasını, kültür mirasının korunmasını ve gelecek kuşaklara aktarılmasını hedeflemektedir.

Adakale'nin Tarihçesi ve Önem

Osmanlı Devleti'nin hakimiyet yıllarında Adakale, Avusturya- Macaristan İmparatorluğu, Sırbistan ve Romanya'nın nehir üzerindeki kesişme noktasında bulunuyordu. Tuna nehri üzerinde Demirkapı geçidinin 4 km yukarısında yaklaşık 1500 m. (Ağanoğlu, 2015) uzunluğunda olan ada, Birinci Dünya Savaşında Orşova'nın Romanya'ya bırakılmasıyla Romanya ile Sırbistan arasında kalmış, bir hidroelektrik santralının 1970 yılında açılması ile Adakale Tuna'nın derinliklerine gömülmüştür (Ağanoğlu, 2015).

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

Ada, belgelerde ve yazılarda çeşitli adlarla anılmıştır. En eski kayıtlarda *Yeni Orşova* ya da *Orşova Adası* olarak belirtilmiş, daha sonra Almancada siper anlamına gelen *Schanze* kelimesinden türetilen *Şans Adası* adıyla anılmaya başlanmıştır. Ada, *Adakale*, *Adakalesi* ve *Ada-i Kebir* gibi değişik isimler almıştır. Romenler, adaya Ada-i Kebir'in çevirisi olan *Ostrovul Mare* demiş, ada, 1788'den sonraki haritalarda Ada-Kaleh adıyla da yer almıştır (Popescu-Judet, 2007:16; Ağanoğlu, 2015: 23).

Yıldırım Bayezid'in emiri olan Firuz Bey zamanında Vidin ve Orşova ile beraber Adakale'yi 1390 yılında ele geçiren Osmanlı Devleti 1402'den sonra bu bölgede güçlerini kaybetmiştir. O dönemde ada, Sırp'lar tarafından ele geçirilirken, 1417'de yeniden Türkler tarafından ele geçirilmiştir. 1418'de Macaristan Kralı Sigismund adaya hâkim olmuştur (Ağanoğlu, 2015:181). Adakale, Tuna bölgesinde hakimiyet sağlamak için girişilen savaşlarda önemli bir noktada yer almıştır. 1521 yılında Belgrad'ın fethinden sonra Fethislam Kalesi (Glodovo) ve Orşova kaleleriyle birlikte ada, Osmanlı egemenliğine girmiştir. On yedinci yüzyıldan itibaren Adakale defalarca kuşatılmış, saldırıya uğramış, Avusturyalılar ile Osmanlılar arasında el değiştirmiştir. Adakale, hem askerler için bir geçiş noktası, hem de aşağı Tuna'daki savaş gemileri için stratejik öneme sahip bir Osmanlı nehir üssü olmuştur (Popescu-Judet, 2007:17).

1688'de Belgrad'ın Avusturyalılar tarafından alınması ve 1690'da tekrar Osmanlıların eline geçmesiyle Adakale'nin fethi için hazırlıklar başlamış, Avusturyalı komutan Belgrad'ın Türklerin eline geçtiğini öğrenince adayı teslim etmiş, 1691'de ada yeniden Avusturyalıların eline geçmiştir. 1699 yılında imzalanan Karlofça Antlaşması ile Adakale, Banat ve Orşova Osmanlı yönetiminde kalırken, 1718'deki Pasarofça Antlaşmasıyla ada, Avusturyalılar'da kalmıştır (Popescu-Judet, 2006: 20-21; Ağanoğlu, 2015). 1737 yılında Osmanlı ordusu, Adakale'yi kuşatmış, ancak alamamıştı. 1738'de Avusturyalılarla yapılan zorlu bir savaştan sonra Adakale'nin anahtarı Osmanlı veziriazamı Yeğen Mehmet Paşa'ya teslim edilmiştir. 1877-1878 Osmanlı-Rus Harbinden sonra imzalanan Berlin Antlaşmasında Adakale'nin hangi devlete bırakılacağı sorunu unutulmuş, 1923 yılında imzalanan Lozan Antlaşmasıyla Adakale Romanya toprağı sayılmıştır (Ağanoğlu, 2015:47).

İsmail Habib Sevük, "Tuna'dan Batı'ya" isimli eserinde, adayı kaybetmenin acısını şu sözlerle ifade etmiştir:

... bütün Tuna'yı kaybettiğimiz zaman Berlin Muahedesi yapılırken nasılsa Adakale unutuluyor. Bu nisyan sayesinde kırk yıl(daha) o küçük ada bizde kaldı...Büyük Harpten sonra

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

o kırk yıllık yanlış düzelttiler. Hiçbir düzeltme bundan yanlış olamaz. Kırk yılın ucunda mukaddes bir unutmaya, diğer ucunda melun bir düzeltme. Cihan Harbinden iki misli büyüyerek çıkan şişman Romanya'ya o üç harmanlık ada ne verdi? Onların kazancı hiç, bizim kaybımız derin. Türk'te kalmayan Tuna, Tuna'da kalan o ada ile bize bağlıydı. Sızımızda kesilen bir damar acılığı var... (Sevük, 1935:48)

Osmanlı Devleti'nin Tuna'da kalan son toprağı olan Adakale, Anadolu ve Balkanların ortak belleğine yerleşmiş bir kültür abidesidir. Tarihinde sonu gelmeyen savaşlara, siyasi ve toplumsal sorunlara direnmiş olan Adakale, kültürel kimliğini zengin müzik ve edebiyat geleneğı vasıtasıyla sürdürmeyi başarmıştır. 1970 yılında bir baraj inşasıyla Tuna'nın suları altında kalsa da Balkanların ve Adakale'nin suyun altında kalan toprağının izlerini taşıyan halk ezgilerinin araştırılması, bu coğrafyanın temsil ettiği ortak yaşam kültürünün anlaşılması için yol gösterici olacaktır.

Arşiv İnceleme ve Veri Setinin Oluşturulması

Bu çalışma, Adakale ve çevresinde saklı kalmış sesleri makina öğrenme yöntemiyle yeniden yapılandırarak Balkan coğrafyasındaki ortak hafızanın tazelenmesini, bu bölge ile ortak kültür mirasının gelecek nesillere aktarılmasını amaçlamaktadır. Bu amaçla, bölgede en fazla kullanılan makam yapıları ve ezgi motifleri incelenmiş, sözlü eserlerdeki edebi özellikler belirlenmiş, bölgesel ezgilerden yararlanarak benzer edebi özellik gösteren ezgilerin ritmik yapıları tespit edilerek yeni üretilen ezgiler, ritmik yapı üzerine yerleştirilerek Adakale'ye ait sözü belli olup ezgisi belli olmayan türküler tekrar yapılandırılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışma kapsamında analiz için seçilen eserlerin Adakale ve çevresinden derlenmiş olması ön koşul olarak düşünülmüştür. Macar Türkolog Ignac Kunos'un sözü olan ancak notası olmayan Adakale derlemeleri, Kemal Altınkaya'nın yapmış olduğu derleme çalışmaları, Romanya Cluj üniversitesinin Ioan R. Nicola önderliğinde yaptığı ve 1971'de yayımlanan araştırmaları ve müzikolog Eugenia Popescu Judetz'in derlemeleri çalışmamızın veri tabanını oluşturmaktadır.

Macar Türkolog Ignac Kunos (1862-1945), 1890 yılı civarında Adakale'de geniş kapsamlı bir alan çalışması yapmıştır. Kunos, yüz elli Adakale halk türküsü derleyip, bunlardan seksenini yayımlamıştır. Kunos, bu halk müziğı eserlerinin, genellikle kahvehanelerde tanbura, darbuka ve def gibi çalgılar eşliğinde erkekler tarafından icra edildiğini açıklamış, bunun dışında herhangi bir eğlence veya tören sırasında bir kişinin ya da bir takımın türküler söyleyip hikâyeler anlattığından da söz etmiştir. Adakale sözlü halk geleneğinin ürettiğı türküler,

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

birbirinden farklı özellikler içeren kültür katmanlarının özelliklerini taşır (Popescu-Judet, 2006:66). Ne yazık ki bu türkülerin sadece sözleri mevcut olup ezgileri bulunmamaktadır. Kunos'un sadece sözü olan derlemelerinin edebi ve simgesel analizi yapılmış, bu da ezgi üretim algoritmaları için temel teşkil etmiştir.

Yazar, besteci ve araştırmacı olan Kemal Altınkaya, Belgrad'da Türk elçiliğinde mütercim olarak çalıştığı sekiz yıl (1925-1933) içinde altı yüzden fazla Serhat, Tuna ve Rumeli türküsü ve oyun havasını derlemiş, bunlardan altmış yedi tanesinin notası günümüze ulaşabilmiştir. Bu derlemede, ilahiler ve tekbirler ile kendi besteleri de bulunmaktadır (Bozkurt, 2016:7).

Altınkaya, Tuna ve Serhat türkülerini makam bakımından bir tasnife tabi tutarak başta Hicaz olmak üzere Hüseyinî, Sabâ, Eviç, Karcığar, Segâh, Nevâ, Bayâti, Gerdaniye makamlarına rastlandığını, bölgedeki Türk musikisinin Yunan, Sırp, Hırvat musikisiyle de etkileşim içinde olduğunu belirtmiştir (Acehan, 1994:12-13).

Kemal Altınkaya derlediği türkülerden yirmi beşini Tanburi Refik Fersan ile notaya almış ve bu türkülerden on ikisi 1939'da yayınlanan "Birinci Tuna Gecesi" programında seslendirilmiştir. Bu program, Tuna kıyılarına ait kültürün yeniden hafızalarda yer almasını sağlamıştır (Bozkurt, 2016:41-42). Kemal Altınkaya, Balkan ya da Rumeli türkeleri denildiğinde akla ilk gelen kaynak kişilerdendir (Güvener ve Güray, 2021:113). Altınkaya'nın derlemeleri içinde bulunup notası ve sözü olan eserler veri tabanımızın en önemli ayaklarından birini oluşturmaktadır.

1964-1969 yılları arasında Romanya Cluj Üniversitesinden müzikolog Ioan R. Nikola ve beraberinde gelen Romen uzmanların, Adakale Tuna'nın sularına gömülmeden, ada halkı başka yerlere dağılmadan hemen önce yaptıkları derleme çalışmasının sonuçları 1971'de "Folclorul Turc Din Insula Ada-Kaleh" (Nicola, 1971) ismiyle yayımlanmıştır. Bu çalışmada on dokuz adet halk şarkısı yer almaktadır.

Eugenia Popescu-Judet, Osmanlı Dönemi Türk Müziği ve Balkan müziği üzerine çalışmalar yapmış bir müzikolog ve sanat tarihçisidir. Türk kültürüne yakın bir çevrede büyümüştür. Adakale'yi çok defa ziyaret etmiş, Adakale halkıyla görüşmeler yapmıştır. "Adakale" isimli monografisiyle (Popescu-Judet, 2006) Ignac Kunos'un Adakale'deki alan araştırmasının günümüze kalmasına, Adakale kültürünün hafızalarda yer almasına katkıda bulunmuştur.

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

Bu çalışmada, makamsal yapıların ve yöresel ezgi motiflerinin incelenmesinde makamsal ezgi çekirdeği yöntemi kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre makam yapısı sabit bir perde dizisi değil, ezgisel bir harekettir. Makam temelli bir ezginin oluşumunu anlamının en etkili yolu, makamın kendine özgü ezgisel özelliklerini ve ortak kültürel hafızadan kaynaklanan ezgisel kodlarını içeren ezgi çekirdeklerini anlamaktır. Ezgi çekirdeği içindeki perdeler, Merkez tanımlayıcı (M), ortak tanımlayıcı (T), pekiştirici (P) ve süsleyici (S) olmak üzere dört farklı perde tipine ayrılır (Bayraktarkatal ve Güray, 2023).

Öncelikle Adakale ve çevresinde kullanılan makamsal yapılar incelenmiş, veri tabanını oluşturan notası ve sözü bulunan eserler arasında en fazla kullanılan makamın Hicaz ve Segah olduğu, bu makamlar arasında Hicaz makamı eserlerin ağırlık kazandığı görülmüştür. Bu makama ait bölgesel örnekler incelenerek ezgisel motifler ve ritim yapıları üzerinde çalışılmıştır. Hicaz eserlerdeki ezgi çekirdekleri belirlenirken Neva, Segah, Hüseyini gibi Hicaz makamı eserlerde sıklıkla görülen motifler de veri setindeki yerlerini almıştır. Bölgede en fazla kullanılan Hicaz makamı eserlerden sonra Segah, Hüseyini ve Saba makam yapısını haiz eserlere ait ezgi çekirdekleri veri tabanına eklenmiştir. Makalede verilen örnekte ise, bölgede en fazla kullanılan ezgi çekirdeklerinden Hicaz ve Neva yapıları ezgi üretimi için tercih edilmiştir. Belirlenen ezgi çekirdekleri, sayısal temelli bilişim uygulamalarında kullanılmasını kolaylaştırmak üzere sayısal değerlerle ifade edilebilecekleri bir formata dönüştürülmüşlerdir. Bunun için, ezgi çekirdeğinde işaret edilen her perde Türk Müziği Ses Sistemi'nde (Arel-Ezgi Ses Sistemi) denk geldiği "perde frekansını temsil eden koma değeri" ile tanımlanırken, ilgili perdenin temsil ettiği "süre değeri" ise "kesir" biçiminde tanımlanmıştır (Tablo 1). Bu çalışmada SymbTR veritabanında kullanılan "koma" ve süre değerleri temel alınmıştır (Karaosmanoğlu, 2012).

Tablo 1. Oluşturulan veri setinden bir örnek

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

Merkez Perdesi	dügah	dügah	dügah	dügah	dügah					
Geçici Karar Perdesi	dügah	kürdi	kürdi	dügah	dügah					
Makam	Hicaz	Hicaz	Hicaz	Hicaz	Hicaz					
Eser no	1	1	1	1	1					
EÇ tipi	hcz	hcz	hcz	hcz	hcz					
EÇ yeri	1	1	1	2	3					
	336	1 4	305	1 16	305	1 16	336	1 4	327	1 16
	327	1 4	296	1 16	296	1 16	327	1 16	322	1 16
	322	1 8	305	1 16	305	1 16	322	1 16	310	1 16
	310	1 8	310	1 16	310	1 16	327	1 16	322	1 16
	305	1 2	322	1 16	322	3 16	336	1 16	322	1 16
			322	1 16	327	1 16	322	1 8	310	1 16
			310	1 16	327	1 8	310	1 8	310	1 16
			305	1 16	322	1 16	305	1 2	305	1 16
			310	1 2	310	1 16			305	1 2
					305	1 4				

Markov Tabanlı Stokastik Analizler

Bilgisayar destekli besteleme çalışmalarında en popüler yaklaşımlardan birisi Markov² zincirlerinin kullanımınıdır. Bir durumun³ oluşma olasılığının önceki durumun oluşmasına bağlı olması temeline dayanan bu yöntemde, çoğunlukla mevcut bestelerin analiz edilmesine ihtiyaç duyulur (McCormack, 1996:324). Markov zincirlerinin bilgisayar destekli besteleme (algoritmik kompozisyon) çalışmalarında kullanımı rastlantısallık içermesi nedeniyle stokastik bir süreci işaret eder. Belirli bir istatistiksel veriye uygun şekilde gerçekleşen bu süreç, rastlantısal sayılara dayanarak yeni sayılar (notalar) üretilmesini sağlar (Yener, 2004:19).

Markov zincirlerinin müzik alanında kullanımı 1950'lere dayanmakta olup, Harry F. Olson tarafından Stephen Foster⁴ şarkılarının analiz edilmesinde kullanılmıştır. Bu nedenle söz konusu yöntem literatürde "Olson Yöntemi" olarak da anılmaktadır Foster'ın on bir şarkısı üstünde yapılan analizler sonucunda, iki notanın peş peşe gelme olasılıklarını gösteren ikili nota zincirleri ve ardışık nota çiftlerinin ardına üçüncü notanın gelme olasılıklarını gösteren üçlü nota zincirleri üretilmiştir. Ayrıca, bu eserlerde farklı zaman anahtarları için ritim olasılıkları da çıkarılmıştır. Olson, bu yöntemle Foster'ın müziğine benzeyen yeni bir müziğin üretilebileceğini ve bu üretimin besteci kalitesinde olacağını iddia etmektedir (Olson ve Belar, 1961; Yükrük, 1998:4; Carvalho, 2019:31).

***Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması***

Markov zincirlerinin müzik alanında kullanımı sonraki yıllarda da devam etmiştir. 1957'de Hiller ve İsaacson "Illiac Suite"i, 1963'te Hiller "Computer Cantata" yı bu yöntemle bestelemiştir. 1971'de Meyer ve Xenakis, 1981'de Jones, 1987'de Polansky, Rosenboom ve Burk, 1970' de Koenig, 1985'te Dodge ve Jerse, 1988'de Tirno, 1989'da North, 1992'de Ames ve Domino, 1993'te Levit Markov zincirlerini çok çeşitli müzik araştırmalarında kullanmıştır (Yener, 2004:20). Bu çalışmalar, Markov zincirlerinin müzikal analiz ve besteleme çalışmaları için umut vaat eden bir yaklaşım olduğunu ortaya koyarken, sonraki yıllarda devam edecek çalışmalara da ışık tutmuştur.

Olson yöntemi, 90'ların sonlarına doğru bazı araştırmacılar tarafından Türk müziğine de uygulanmıştır. Bu çalışmalardan birinde Aşık Veysel'in altı adet türküsü analiz edilerek, ikili ve üçlü nota zincirleri üretilmiştir. Ardından üçlü nota zincirleri kullanılarak bu türküler yeniden bestelenmiştir. Bu çalışma için en az üçlü nota zincirlerinin gerekli olduğu sonucuna varılırken, yöntemin Geleneksel Türk Halk ve Sanat Müziği analizlerinde ve müzik eğitiminde kullanılma potansiyelinin yüksek olduğu değerlendirilmiştir (Yükrük, 1998). Aynı yıl yapılan başka bir çalışmada ise, yirmi makamda bin eser analiz edilerek kullanılan notaların süre değerleri ve ikili nota zincirleri çıkarılmıştır. Ardından bu veriler kullanılarak, her makam için eğitim müziğine yönelik beşer adet örnek ezginin üretimi yapılmıştır (Sağır, 1998). Daha sonraki yıllarda Markov modelinin Türk müziği araştırmalarında kullanımına yönelik çalışmalar devam etmiş olup, bunlardan birinde bilgisayar destekli bir istatistiksel analiz yöntemi önerilmiştir. Geleneksel Türk Sanat Müziği eserleri üzerinde uygulanan yöntem Markov modelini temel almakta olup, ikili nota zincirleri yeterli görülmeyle üçlü nota zincirleri üzerinden algoritmik kompozisyon gerçekleştirilmiştir (Yalçınkaya, 2004). Aynı yıl yayımlanan bir doktora tezinde ise, farklı icracı ve enstrümanlara ait Hicaz taksimleri üzerinde gerçekleştirilen Markov tabanlı analizler sonucunda, taksimlerin bit takım kalıplaşmış ezgilere dayandığı sonucuna ulaşılmıştır (Yener, 2004).

2000'lerin başından itibaren, Markov zincirlerinin yapay zeka sistemlerini de devreye sokarak daha gelişmiş şekilde kullanımına yönelik çalışmaları takip edebilmek mümkündür. Klasik Batı müziği için algoritmik kompozisyon yöntemi öneren bir çalışmada, Markov zincirleri tekil notalar yerine örüntülerden oluşturulmuştur. Bach eserleri ile eğitilen bu modelde, olasılık geçişleri örüntülerin nasıl sıralanacağını göstermektedir. Çalışmada, nota yerine örüntü bazlı

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

Markov modelinin daha yumuşak geçişler sağladığı sonucuna varılmıştır (Verbeurgt, Dinolfo ve Fayer, 2004).

Sonraki yıllarda, gözlemlenebilir Markov modeline alternatif olarak, daha gelişmiş yöntem ve algoritmalara başvurularak daha etkili müzik üretimleri yapılması amaçlanmıştır. Bunlardan biri olan “Saklı Markov Modeli”, gözlenen durumların, altında yatan saklı durumlar yüzünden oluştuğunu varsayar (Allan, 2002:35). Buradaki amaç, gözlemlenebilen parametrelerden saklı parametrelerin belirlenmesidir. Gözlemlenebilir Markov modelinde durumlar görülebilirdir ve geçiş olasılıkları parametrelerden ibarettir. Ancak Saklı Markov modelinde her bir durum olasılık dağılımına sahiptir (Goldwater, 2006:17). Genetik algoritmaların Markov zincirleriyle birlikte kullanıldığı çalışmalarda ise, sıradaki notanın/akorun Markov zinciri ile üretimi sağlandıktan sonra, kulağa en hoş gelen müziği üreten Markov zincirinin seçiminde genetik algoritmalara başvurulmuştur (Bell, 2011). Algoritmik kompozisyona dair son yıllarda yapılan çalışmalarda “Yapay Sinir Ağları (ANN)”, “Derin Sinir Ağları (DNN)” ve “Çekişmeli Üretici Ağlar (GAN)” sıklıkla kullanılan algoritmalar. Markov zincirlerinin bu algoritmalarından “Çekişmeli Üretici Ağlar”daki “üretici ağ” ile yer değiştirerek veya onu destekleyerek kullanılması ile ezgi üretiminin geliştirilmesi mümkün olabilir (Siphocly, El-Horbaty ve Salem, 2021).

Markov tabanlı beste yapma yaklaşımının yüksek potansiyelinin yanında bazı dezavantajları da mevcut olup, bunların farkında olunması sayesinde yeni yöntemlerin araştırılması ve daha gelişmiş yöntemlerin keşfedilmesi mümkün olacaktır. Söz konusu dezavantajlardan bazıları şu şekildedir (1996, McCormack:325):

- Markov modeli mevcut eserleri girdi olarak aldığı için, üretilen yeni müziklerin mevcut eserlere benzer olması kaçınılmazdır.
- Zincir seviyesi arttıkça, özellikle gerçek zamanlı uygulamalar için ihtiyaç duyulacak bilgisayar işlem gücünün yönetilemez boyutlara gelme riski bulunmaktadır.⁵⁶
- Markov modelinin kullandığı olasılık matrisleri, üretilen müziğin çeşitliliği anlamında sınırlı imkanlar sunabilmektedir.
- Düşük olasılıklı notaların kullanımı düşük ihtimalle gerçekleşeceğinden, üretimler belli notalarda yoğunlaşır (Verbeurgt, Dinolfo ve Fayer, 2004:1128).

Bu çalışmada, Adakale bölgesine ait derlemelerden elde edilen Hicaz ve Neva veri setleri kullanılarak, stokastik analiz tabanlı Markov Zincirleri yoluyla ezgi üretimi gerçekleştirilmiştir. Bunun için, öncelikle nota zincirleri oluşturulmuş ve oluşturulan olasılık matrislerinden

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

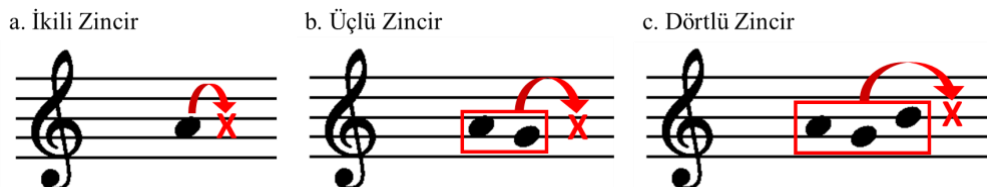
(transition matrix) dörtlü zincir kullanılarak ezgi üretimleri yapılmıştır. Ardından, üretilen ezgilerden uygun olanları seçebilmek için polinom regresyon tabanlı bir filtreleme yöntemi geliştirilmiştir. Son olarak, bu yöntemle filtrelenen ezgi üretimleri içinden seçilenler belirli bir kurala göre birbirine eklenerek, mevcut derlemelerden birisinin üzerine, söz ve ritim aynı kalacak şekilde oturtulmuştur. Markov tabanlı ezgi üretiminin ana aşamaları Şekil 1'de verilmiş olup, bundan sonraki bölümlerde bu aşamalar detaylı şekilde ele alınarak açıklanmıştır.



Şekil 1. Markov tabanlı ezgi üretiminin ana aşamaları

Markov Zincirlerinin Oluşturulması

Markov zincirleri, nota üretimindeki rastlantısallığın belli bir istatistiksel veriye uygun olarak gerçekleştirilmesini sağlar. Bu istatistiksel veri, mevcut eserlerden oluşturulan veri setindeki notaların ardışıklık ilişkisinden elde edilir. Bir notanın öncesindeki nota veya notalara bakılarak bu ardışıklık ilişkisinin hangi sıklıkla gerçekleştiği bilgisi (frekansı) çıkarılabilir. Elde edilen bu ilişkinin en kolay ifade edilme yollarından birisi olasılık matrisi⁷ olacaktır. Özetle, oluşturulan veri setindeki notaların ardışıklık ilişkisine dair istatistiksel veri çıkarılarak, bu verinin olasılık matrisi üzerinden gösterimi sağlanabilir. Söz konusu ardışıklık ilişkisi, bir notadan sonra gelen notayı içerebileceği gibi (ikili zincir), ikili nota kombinasyonlarından (nota çifti) sonra gelen notayı (üçlü zincir) ya da üçlü nota kombinasyonlarından sonra gelen notayı (dörtlü zincir) da içerebilir (Şekil 2). Bu yaklaşım nota sayısı ve kombinasyonları artırılarak genişletilebilir. Ancak ardışıklık ilişkisine bakılacak nota sayısı arttıkça, hem aranan kalıplara rastlama ihtimalinin azalacağını, hem de algoritmanın daha fazla işlem gücüne ihtiyaç duyacağını unutmamak gerekir. O nedenle çalışmada kullanılacak Markov zinciri derecesine karar verilmesi konusunun kendisi de en az çalışmanın sonraki aşamaları kadar önemli bir meseledir.



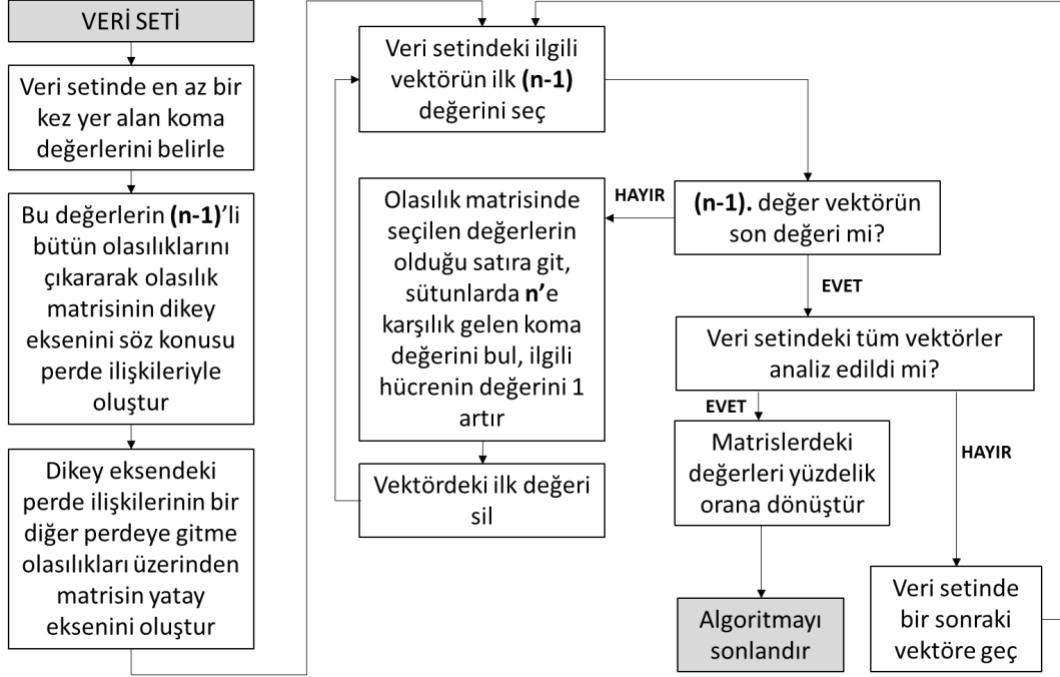
**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

Şekil 2. Sıradaki notanın üretilmesi için farklı Markov zinciri yaklaşımları

Bu çalışma kapsamında, Hicaz, Hicaz bitiş⁸ ve Neva veri setleri kullanılarak, her veri seti için ayrı ayrı olacak şekilde ikili, üçlü ve dörtlü nota zincirleri oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle, kullanılan veri setinde en az bir kere yer alan notaların koma⁹ değerleri belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak olasılık matrislerinin sütunları isimlendirilmiştir. Ayrıca, yine bu değerlerin kendileri kullanılarak ikili zincir matrisi, ikili kombinasyonları kullanılarak üçlü zincir matrisi ve üçlü kombinasyonları kullanılarak dörtlü zincir matrisinin satırları isimlendirilmiştir. Oluşturulan boş matrislerin içleri doldurulurken, veri setindeki notaların ardışıklık ilişkisine bakılmıştır. İkili zincir matrisi için, veri setindeki notalara çiftler halinde bakılmış, ilk nota matris satırlarında bulunduktan sonra ardışığındaki nota matris sütunlarında bulunarak bu ikisinin işaret ettiği hücre değeri bir artırılmıştır. Böylelikle, tüm ardışık nota çiftleri için istatistiksel bir veri elde edilerek ikili zincir matrisinde gösterilmiştir. Aynı çalışma üçlü ve dörtlü zincir için de tekrarlanarak her biri için ayrı matrisler oluşturulmuştur. Üçlü zincir için veri setindeki tüm ikili nota kombinasyonları çıkarılarak matris satırları isimlendirilirken, aynı işlem dörtlü zincir için veri setindeki tüm üçlü nota kombinasyonları için tekrarlanmıştır. Bu sayede, veri setindeki tüm üçlü ve dörtlü nota kalıplarına dair istatistiksel veri elde edilmiştir.

Oluşturulan Markov zincirlerindeki değerler, bir sonraki aşamada ezgi üretiminde kullanılmak üzere yüzdeler oranlara dönüştürülmüştür. Nota zincirlerinin oluşturulması için kullanılan algoritmaya ait akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**



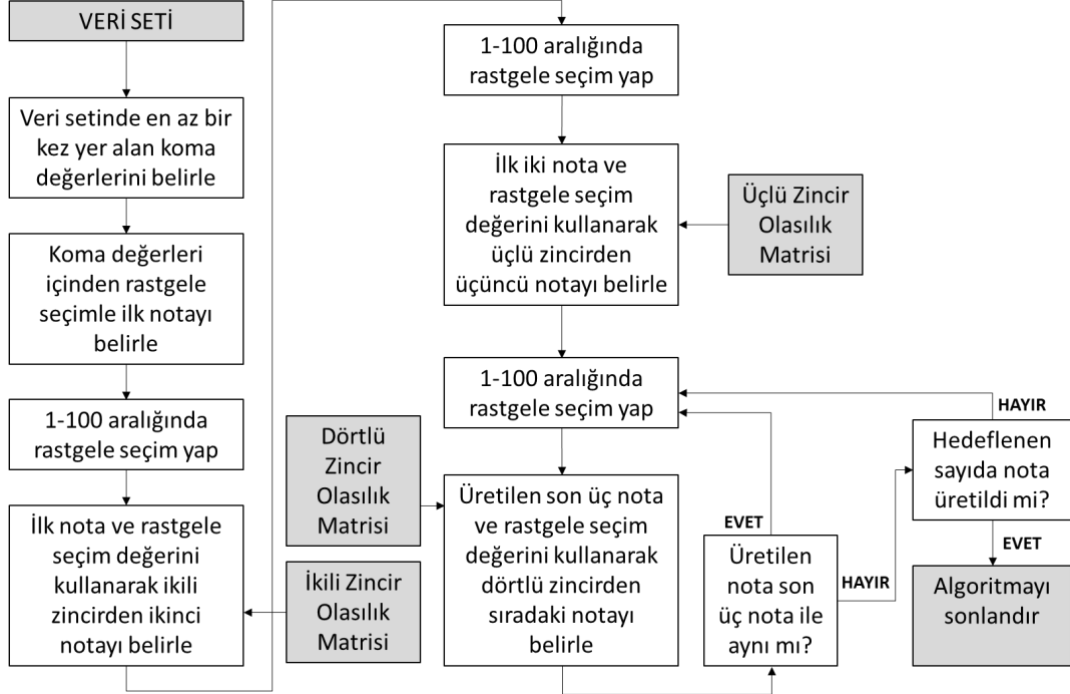
Şekil 3. Nota zincirlerinin oluşturulması için kullanılan algoritmaya ait akış diyagramı¹⁰

Markov Zincirleri ile Ezgi Üretimi

Çalışmanın ana amacı olan ezgi üretiminin gerçekleştirilebilmesi için, bir önceki aşamada üretilen ikili, üçlü ve dördü zincirler kullanılmıştır. Bu sayede, mevcut veri setindeki notaların ardışıklık ilişkisinden üretilen olasılıkları ezgi üretim çalışması için bir dayanak olmuş, yeni ezgilerin üretimleri bu olasılıklar dahilinde gerçekleştirilmiştir. Üretilcek ezginin ilk notası, veri setinde en az bir kere kullanılmış notalar arasından rastgele seçilmektedir. İkinci notanın üretimi için ikili zincir matrisinden faydalanılmış, ilk üretilen notanın ismine ait satırdaki olasılık değerleri kullanılmıştır. Bu değerlerin toplamı 100 olup, 1 ile 100 arasında rastgele seçilen sayının hangi hücreye denk geldiğine bakılmıştır. Bu hücrenin ait olduğu sütundaki nota ikinci üretilen nota olarak kaydedilmiştir. Ardından üretilen ilk iki nota üçlü zincir matrisi içine yerleştirilerek, aynı işlemler uygulanmış ve dördüncü nota üretilmiştir. Son olarak, üretilen ilk üç nota dördü zincir matrisi içinde kullanılarak beşinci nota üretilmiştir. Bundan sonraki nota üretimlerinde üretilen son üç nota ve dördü zincir matrisi kullanılarak aynı işlemler tekrar edilmiştir. Üretilmesi planlanan toplam nota sayısı elde edildiğinde algoritma durdurulmuştur. Bu çalışmada, yüksek üretilme olasılığına sahip notaların sıkça üretilmesi durumuna önlem olarak, bir notanın arka arkaya üç kez üretilmesi halinde dördüncü kez üretilmesine izin verilmemiş, farklı bir nota üretilene kadar algoritmanın aynı işlemleri tekrar etmesi

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

sağlanmıştır. Bu bölümde açıklanan ezgi üretim algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Nota zincirleri kullanılarak ezgi üretimi yapan algoritmaya ait akış diyagramı¹¹

Polinom Regresyon Yöntemiyle Ezgi Üretimlerinin Filtrelenmesi

Bu aşamaya kadar yapılan çalışmalar sonucunda, Markov tabanlı ezgi üretimleri gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, üretilen ezgilerden bazılarının makamsal ezgi hareketini tam yansıtamadığı görülmüştür. Bu durumun nedeni irdelendiğinde, üretilen tüm ezgilerin olasılık matrisleri dahilinde teknik açıdan doğru üretildiği, ancak bazı ezgilerin tekrarlı notalar ve kullanılan perde çeşitliliği anlamında makamsal ezgi üretimine dair beklentiyi karşılamakta yetersiz kaldığı sonucuna varılmıştır. Bu durum, ezgi üretimine bir filtreleme aşamasının algoritmaya eklenmesi ihtiyacını doğurmuştur. Üretilen ezgilerden makamsal ezgi hareketini daha iyi şekilde gösterebilenleri, gösteremeyenlerden ayırt etmek ve bunları elemek için polinom regresyon¹² yöntemi kullanılmıştır.

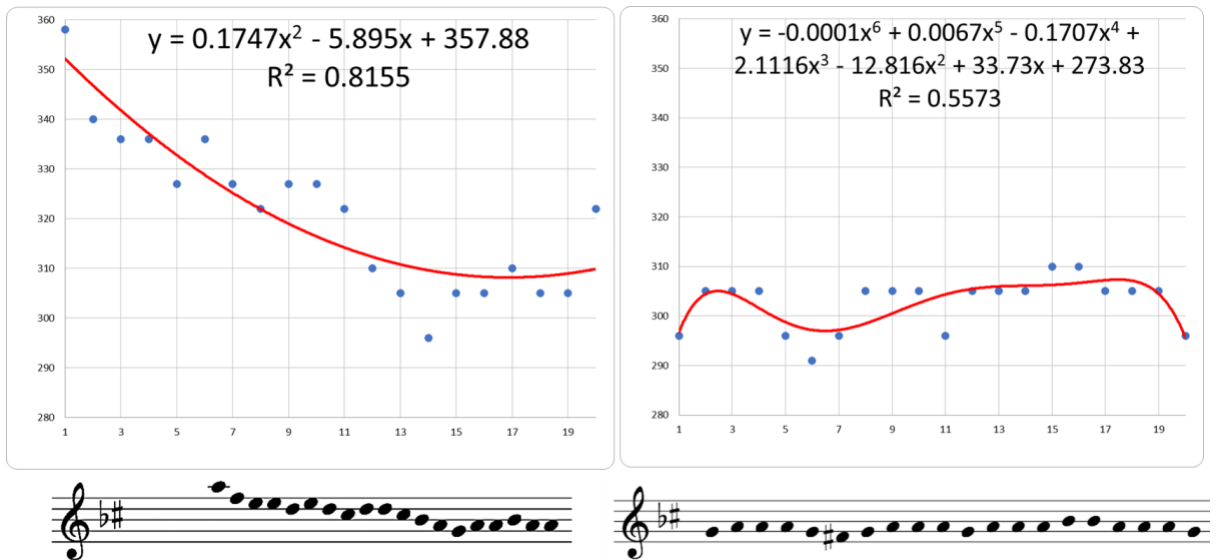
Polinom regresyonu, üretilen ezgilerin koma değerleri üzerine bir polinom eğrisinin oturtulması (polynom fitting) ile sağlanır. Bu polinomun en az hata ile üretilebilmesinin, aynı zamanda söz konusu ezginin yavaşık hareketlerle (yani sesler arasında çok fazla atlama olmaksızın)

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

ilerlediğinin ve bir melodik seyri takip ettiğinin de habercisi olduğu düşünülmektedir. Üretilen polinom, bir matematiksel denkleme sahip olması bakımından ayrıca bir öneme de sahiptir. Polinomlar bu aşamada filtreleme amacıyla kullanılsa da, söz konusu yapıların, elde edilen ezgilerin matematiksel yolla ifade edilmesini sağlaması açısından gelecek çalışmalara da ışık tutacağı öngörülmektedir. Polinom regresyon yöntemi uygulanırken aşağıda verilen bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller yapılırken, halihazırda veri setinde yer alan ya da yeni üretilen çok sayıda ezgi üzerinde farklı derecelerde ve farklı hata değerleriyle polinomlar oluşturulmuş, bunlardan hangilerinin söz konusu ezgiyi daha iyi ifade ettiği kontrol edilmiştir. Konunun uzmanlarını da içeren proje ekibinin yardımıyla desteklenen bu kabuller şunlardır:

- Polinomun hangi derecede üretileceği konusu başlı başına düşünülmesi gereken bir konu olup, bu çalışma için en fazla 6. dereceden polinomlar üretilmiştir.
- R^2 , polinomun üretilen ezgideki notaların koma değerlerini ne kadar iyi ifade ettiğini gösteren bir hata değeri olup, bu değer en az "0.7" olması koşulu aranmıştır¹³.

Örnek bir filtreleme uygulaması Şekil 5'te verilmiştir. Sol taraftaki ezgi üretimi 2. dereceden bir polinomla düşük hata ile ifade edilebilmiştir. Ancak sağ taraftaki ezgi üretimi, 6. dereceden polinomla bile yüksek bir hata değeri ile ifade edilebilmektedir. Bu ezgiyi oluşturan notalara bakıldığında, ağırlıklı olarak "305 (dügah perdesi)" değerinin üretildiği ve diğer notalara geçişin çok az olduğu görülmektedir. Melodik bir seyir hissi vermeyen bu üretim polinom regresyon yöntemiyle elenmiştir.

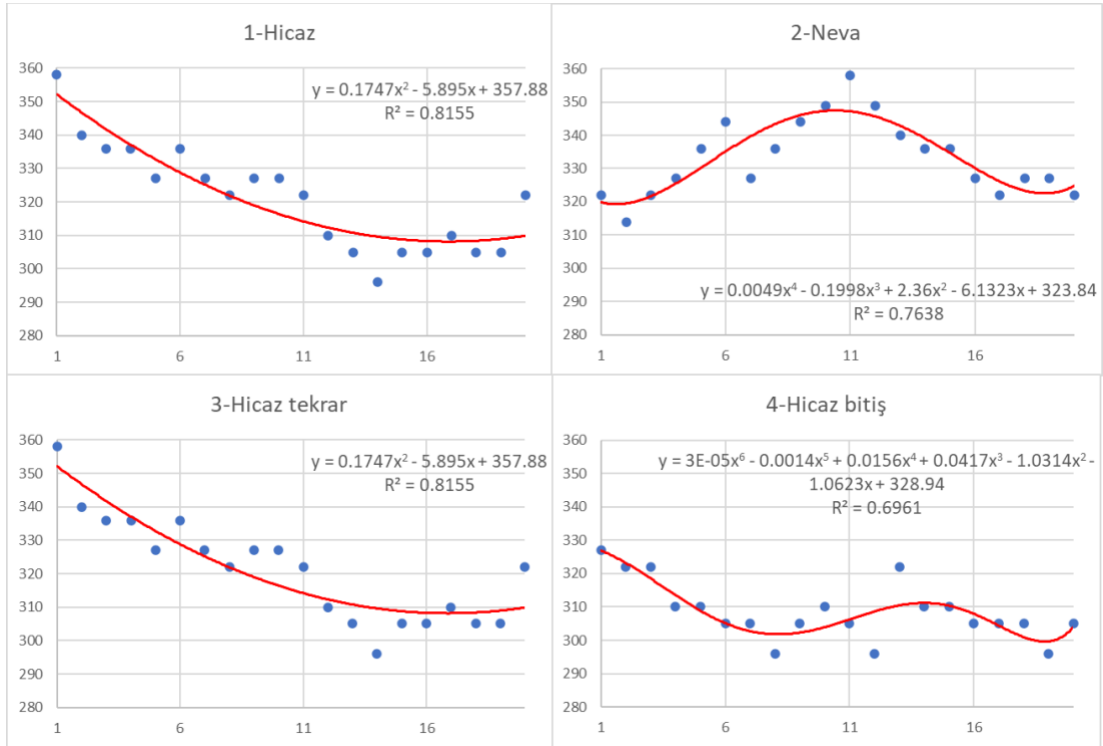


Şekil 5. Polinom regresyon yöntemiyle filtreden geçen (sol) ve filtreden geçemeyen (sağ) ezgi üretimi örnekleri

Ezgi Üretimlerinin Eklemlenerek Mevcut Söz ve Ritim Üstüne Oturtulması

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

Önceki aşamada filtrelenen ezgilerin birbirine eklenmesi de algoritma tarafından yapılmıştır. Bunun için, öncelikle eserin başlangıç kısmında kullanılmak üzere Hicaz üretimlerinden biri rastgele seçilmiş (bkz. Şekil 6: 1-Hicaz), bu ezginin son notasından başlayan bir Neva üretimi, eserin gelişme kısmında kullanılmak üzere yine rastgele seçilmiştir (bkz. Şekil 6: 2-Neva). Ardından, eserin başında kullanılan Hicaz ezgisi tekrarlanmış (bkz. Şekil 6: 3-Hicaz tekrar) ve eserin bitiş kısmında kullanılmak üzere de Hicaz bitiş veri setinden üretilen ezgilerden birisi seçilmiştir (bkz. Şekil 6: 4-Hicaz bitiş). Ancak Hicaz bitiş üretimleri içinde, Hicaz ezgisinin son notası ile aynı notadan başlayan bir seçenek bulunmadığı için, yakın bir notadan başlayan (322- hicaz perdesi yerine 327- neva perdesi) bir ezgi seçilmiştir; aynı zamanda ezginin “305-dügah perdesi”nde bitmesi koşulu da gözetilmiştir. Bu algoritma ile çok sayıda farklı ezgi üretimi yapılması mümkündür. Şekil 6 da bu üretimlerden birisine ait polinom regresyon sonuçları verilmiştir.



Şekil 6. Polinom regresyon yöntemiyle seçilen Hicaz, Neva, Hicaz bitiş ezgileri ve birbirine eklenmesi

Çalışmanın son aşamasında, “Kağıt Aldım Yazdırayım Derdimi” eserin mevcut sözleri üzerine, öncelikle benzer söz kalıplarını kullanan ve ezgisi belli eserlere ait ritmik kalıplar oturtulmuş, yukarıda anlatılan aşamalar sonucunda üretilen Markov tabanlı ezgilerin “regresyon

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

yöntemiyle” onaylanmış olan örneklerinden biri de, üretilen nota sırasıyla ritmik kalıpları oluşturan her bir ritmik birim üzerine yerleştirilmiştir.

“Kağıt Aldım Yazdırayım Derdimi” eseri, Ignac Kunos’un 1890 yılı civarında Adakale’den derlediği sözü olup ezgisi olmayan eserler arasındadır. Eser on birli hece ölçüsüyle yazılmıştır. Çalışmanın nihai çıktısı olan esere ait notasyon Şekil 7’de verilmiştir.

Kağıt Aldım Yazdırayım Derdimi

Kağıt al dım yaz dı ra yım der di mi a man a man dağ lar al maz

5 ef kar i le za rı mı a man Re va gör mem bu genç lik te

9 ö lü mü a man a man Ol yar i çin ko ya na rım na ra ben a man

Şekil 7. Üretilen ezginin “Kağıt Aldım Yazdırayım Derdimi” eserinin sözleri ve ritmik kalıbı üzerine oturtulması¹⁴

Sonuç ve Tartışma

Çalışmada dörtlü Markov zincirleri ile ezgi üretimi yapılmış, söz konusu ezgi üretimleri “Polinom Regresyon Yöntemiyle Ezgi Üretimlerinin Filtrelenmesi” yöntemiyle filtrelenerek, yöresel ezgi yapıları ile uyum gösterebilecek ezgi yapıları öne çıkarılmış ve bu ezgi yapıları üzerinden sözü bilinip ezgisel yapısı bilinmeyen bir Adakale türküsü yeniden yapılandırılmıştır. Bu yönüyle hem dörtlü zincirin kullanılması hem de filtrelenme süreci bu çalışmanın özgünlüğünü arttıran yönler arasındadır. Projenin ilerleyen safhalarında, Markov modeli ile üretimin kendini tekrar eden ezgileri oluşturma özelliği, bu yapıların matematiksel fonksiyon temelli Yapay Sinir Ağları ile desteklenmesi ile dengelenmeye çalışılarak yöresel kültür özelliklerini taşıyan daha “özgün” ezgilerin ortaya koyulabilme yolları tartışılacaktır.

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

Bu çalışmada üretilen eser, Hicaz ve Neva üretimlerinin birbirine eklenmesi ile elde edilmiş olup, ilerleyen aşamalarda Segah, Hüseyini ve Saba üretimlerinin de devreye sokulması ile makamsal açıdan daha zengin ve çeşitli ezgilerin üretilmesi mümkün olabilecektir. Ek olarak, veri setinin oluşturulması aşamasında, seçilen ezgi çekirdeklerinin eser içerisindeki konumları, başlangıç, gelişme, bitiş şeklinde kaydedilmiş olup, projenin gelinen noktasında sadece bitiş ezgileri devreye sokulmuştur. Projenin bir sonraki aşamasında başlangıç ve gelişme bölgesine dair bilgiler de devreye sokularak, eserlerin başlangıç ve gelişme karakterlerine daha uygun ezgilerin üretilmesi sağlanabilecektir.

Son olarak, Markov zinciri tabanlı yöntemlerin sonuçlarını geliştirebilmek adına, özellikle son dönemde gündeme gelen, yapay zeka tabanlı daha gelişmiş yöntemler üstünde çalışılması da hedeflenmektedir. Bu kapsamda daha önce de işaret edildiği gibi, hem LSTM (Long-short term memory), GAN (Generative Adversarial Networks) gibi ezgi üretiminde sıkça başvurulan yöntemlerin uygulanması sağlanacak, hem de Markov zincirlerinin bu yöntemler dahilinde ele alınmasının yolları araştırılacaktır.

Notlar

1 Bu çalışma, "122G016" nolu ve "Adakale'nin Saklı "Türkülerinin" Yapay Zeka (Makine Öğrenme) Yöntemleriyle Yeniden Tasavvur Edilmesi ve Yapılandırılması" başlıklı TÜBİTAK projesi kapsamında hazırlanmıştır

2 Yöntem adını Rus matematikçi Andrei Andreyevich Markov'dan almaktadır.

3 Müzik çalışmalarında durumun oluşma olasılığı, beste içinde bir notanın yer alma olasılığına karşılık gelir.

4 19. yy Amerikan bestecisi

5 Kaynak makale 1996 yılına ait olup, bu zamandan günümüze yaşanan teknolojik gelişmelerin ışığında bu maddenin yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir.

6 Yüksek dereceli Markov modelleri, yeni müzikal malzeme üretmek yerine, mevcut eserin sadece bir taklidini üretme riskini taşımaktadır (Carvalho, 2019:31).

7 Örnek bir olasılık matrisi gösterimi için bkz. (Yükrük, 1998:5-7).

8 Eserlerin bitiş bölümlerinde yer alan hicaz ezgilerinden ayrı bir veri seti oluşturulmuş, ezginin son bölümü bu veri seti kullanılarak üretilmiştir.

9 Koma değerleri SymbTR veritabanında kullanılan değerlere göre belirlenmiş olup, ayrıntılı bilgi için bkz. (Yıldız, 2021).

10 Diyagramda geçen n parametresi Markov modelinin derecesini belirtir. Örneğin ikili zincir üretimi için n=2, üçlü zincir üretimi için n=3, dördü zincir üretimi için n=4 olarak düşünülmelidir.

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

11 Hedeflenen nota sayısı seçilen eserdeki nota sayısına göre belirlenmiş olup, Hicaz=20 nota, Neva=20 nota, Hicaz bitiş=20 nota şeklindedir. Ancak sadece sözleri olan ve notası olmayan eserlerde ezgi üretimi yapılacağı zaman, üretilecek nota sayısının sözlerin edebi analizine göre belirlenmesi gerekmektedir.

12 Detaylı bilgi için bkz. (Yıldız, 2021).

13 Bu değer 0 ile 1 arasında olup, 1'e yaklaştıkça hatada azalmayı, 0'a yaklaştıkça hata artışını ifade eder.

14 Üretilen ezgi Prof. Dr. Cenk Güray tarafından seslendirilmiş olup, ilgili kayda şu linkten erişilebilir: <https://on.soundcloud.com/umE3t>

Kaynakça

- Acehan, A. (1994). *Kemal Mehmet Altinkaya, hayatı, eserleri, sanatı* (yüksek lisans tezi). YÖK tez merkezinden edinilmiştir (30414).
- Ağanoğlu, Y. (2015). *Tuna Nehrinde Bir Yitik Vatan Adakale*. İstanbul: İz Yayıncılık.
- Allan, M. (2002). *Harmonising chorales in the style of J. S. Bach* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). University of Edinburgh School of Informatics, UK.
- Bayraktarkatal, M. E. ve Güray, C. (2023). Proposing a Makam Model Based on Melodic Nuclei. *Analytical Approaches to World Music*, 11(1).
- Bell, C. (2011). Algorithmic Music Composition Using Dynamic Markov Chains and Genetic Algorithms. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 27(2), 99–107.
- Bozkurt, O. (2016). *Rumeli'nin Kayıp Türküleri- M. Kemal Altinkaya'nın Hayatı ve Misyonu* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Güvener, D. ve Güray, C. (2021). Kayıp Toprakların Ezgileri: "Adakale Türküleri". Doğu Varlı, Ö. (Der.), *Müziğin Kimlikli Halleri: İdeoloji, Etnografi, Popüler Kültür içinde* (107-121). İstanbul: Doğu Yayınevi.
- Karaosmanoğlu, M. K. (2012). A Turkish Makam Music Symbolic Database for Music Information Retrieval: SymbTr. *Proceedings of 13th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2012)*, 223–228.
- Mccormack, J. (1996). Grammar-based Music Composition. R. Stocker et. al. (eds), in *Complex Systems 96: From Local Interactions to Global Phenomena* (320-336), ISO Press: Amsterdam.
- Nicola, I. R. (1971). *Folclorul Turc Din Insula Ada-Kaleh*. Lucrari de Musicologie. Cluj: Conservatorul de Muzica.
- Olson, H. F., ve Belar, H. (1961). Aid to Music Composition Employing a Random Probability System. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 33(9), 1163–1170.
- Popescu-Judet, E. (2006). *Adakale*. İstanbul: Pan Yayıncılık.

**Adakale'nin Saklı Türkülerinin
Markov Zinciri Tabanlı
Stokastik Yöntem ile Yeniden Yapılandırılması**

- Popescu-Judet, E. (2007). *Hatırat - Tuna Boyunca Anılarla Ezgiler*. İstanbul: Pan Yayıncılık.
- Sağır, T. (1998). *Okul müziği çerçevesinde Geleneksel Türk Sanat Müziği makam sistemi üzerine bir inceleme* (yüksek lisans tezi). YÖK tez merkezinden edinilmiştir (76348).
- Sevük, İ. H. (1935). *Tuna'dan Batı'ya*. İstanbul: Cumhuriyet Yayınları.
- Siphocly, N.N.J., El-Horbaty, E.-S.M., Salem, A.-B.M. (2021). Top 10 Artificial Intelligence Algorithms in Computer Music Composition, *International Journal of Computing and Digital Systems*, 10(1), 373-394.
- Verbeurgt, K., Dinolfo, M., Fayer, M. (2004). Extracting Patterns in Music for Composition via Markov Chains. *IEA/AIE 2004*, 3029, 1123-1132.
- Frankel-Goldwater, L. (2006). Computers Composing Music: An Artistic Utilization of Hidden Markov Models for Music Composition. *JUR: Journal of Undergraduate Research*, 5 (1-2), 17-20.
- Yalçinkaya, B. (2004). *Geleneksel Türk Sanat Müziği eserlerinin bilgisayar destekli istatistiksel analizi ve bir algoritmik kompozisyon örneği* (yüksek lisans tezi). YÖK tez merkezinden edinilmiştir (190377).
- Yener, S. (2004). *Bilgisayar destekli analiz yoluyla geleneksel Türk Sanat Müziği Hicaz taksimlerinde kalıplaşmış ezgilerin araştırılması* (doktora tezi). YÖK tez merkezinden edinilmiştir (191799).
- Yıldız, Ş. (2021). *Makamsal ezgi çekirdeği tabanlı bilişim uygulamaları için analitik bir yöntem önerisi* (yüksek lisans tezi). YÖK tez merkezinden edinilmiştir (736538).
- Yükrük, H. (1998). *Türk Halk Müziği ezgilerinin analizinde H. F. Olson yöntemi* (yüksek lisans tezi). YÖK tez merkezinden edinilmiştir (76371).