

KLASİK TÜRK MÜZİĞİ İÇİN OTOMATİK NOTAYA DÖKME SİSTEMİ

AN AUTOMATIC TRANSCRIPTION SYSTEM FOR TURKISH MUSIC

Barış Bozkurt¹, Ali Cenk Gedik¹, M.Kemal Karaosmanoğlu²

1. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
{barisbozkurt,aligedik}@iyte.edu.tr

2. Sanat Tasarım Fakültesi
Yıldız Teknik Üniversitesi
kkara@yildiz.edu.tr

ÖZETÇE

Bu çalışmada, literatürde ilk defa klasik Türk müziği için bir notaya dökme sistemi sunulmaktadır. Önce Türk müziğinin, sistem tasarımı dikkate alınan, Batı müziğinden farklı özellikleri özetlenmektedir. Daha sonra, sistemi oluşturan işaret işleme adımları olan; ses işaretinden frekans ölçümü, frekans dağılımlarından otomatik karar sesi frekans tespiti ve makam tanıma, frekans bilgisinin aralık bilgisine dönüştürülmesi, frekans ve süre nicemleme adımları, birbiriyle ilişkili bir şekilde özetlenerek ve sistem içerisindeki fonksiyonları açıklanarak sunulmuştur.

ABSTRACT

This study presents an automatic transcription system for Turkish music for the first time in literature. We first discuss the characteristics of Turkish music that are taken into consideration in the design of the system. Then, the following signal processing components of the system are described briefly in relation to each other and explaining their function in the system: f_0 estimation, automatic tonic detection and makam recognition based on pitch distributions, frequency and duration quantization.

1. GİRİŞ

Otomatik olarak notaya dökme (automatic transcription of music) uzun süredir araştırmacıların üzerinde çalıştıkları bir konudur. Bu konuda uluslararası alanda birçok doktora tezi [1], [2], [3], program (Akoff, Araki, Intelliscore, Notechaser, Scoreextractor) ve patent [4], [5], [6] bulunmaktadır. Batı müziğinde bu derece gelişmiş olan yöntem ve teknikler henüz Klasik Türk müziği için geliştirilip kullanılmamıştır. Bu konuda ciddi bir açık vardır.

Otomatik notaya dökme konusundaki çalışmalarda hedef ve kaynak olarak eşit-yedirilmiş (equal-tampered) ses sistemine dayanan Batı müziği kayıtları ve nota düzeni esas alınmış, bu müziğin kendine özgü problemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Batı müziğinde notaların karşılığı olan frekanslar net olarak belirli olduğu ve eserler çok sesli yazıldıkları için bu alandaki araştırmacıların yoğunlaştığı temel işaret işleme problemi ‘çoksesli müzik kayıtlarının notaya dökülmesi’ (polyphonic transcription) olmuştur [1]. Batı müziği kayıtları için geliştirilmiş otomatik olarak notaya dökme tekniklerini klasik Türk müziği kayıtları için doğrudan uygulamak iki müzik arasındaki çok sayıda fark nedeniyle mümkün değildir. Bu özellikleri detayla daha önceki

çalışmalarımızda incelemiştik [7]. Bunları kısaca sıralayacak olursak:

1- Ses sistemi: Batı müziğinde notalara karşılık gelen temel titreşim frekansları için frekans uzayında bir oktavın logaritmik olarak 12 eşit parçaya ayrılmasına dayanan standart bir ses sistemi kullanılmaktadır. Klasik Türk müziği için ise farklı ses sistemlerinden hangisinin icra ile kuramı en iyi birleştirdiği konusunda anlaşma yoktur (frekans uzayını 53, 106, 159 eşit parçaya ayıran ses sistemleri bulunduğu gibi, tamsayı oranlı operatörler kullanarak notaların yerlerini tanımlayan ses sistemleri de vardır [8]). Ayrıca bu ses sistemleri ancak merkezi frekansları tanımlayabilmekte, notalar icracılar tarafından farklı frekanslarda (daha tiz ya da pes) icra edilebilmektedir. Türk müziği için, Batı müziğinde kullanılan standart akort frekansı ($L_a=440\text{Hz}$) gibi geçerli tek bir akort frekansı bulunmamaktadır. Ayrıca enstrüman yapımı için de standart eksikliği vardır, bunun sonucu olarak aynı notanın farklı enstrümanlarla icrası temel titreşim frekansı açısından Batı müziğine kıyasla daha fazla çeşitlilik gösterebilmektedir. Sonuç olarak klasik Türk müziğinde kullanılan notaların sayısı ve frekans uzayı üzerinde buldukları yerler Batı müziğiyle büyük farklılıklar göstermektedir ve kuramla uyuşma düzeyi daha düşüktür.

2- Tartım: Klasik Türk müziğinin Batı müziğine göre çok daha karmaşık tartım (usul/aksak tartımlar) özellikleri vardır. Batı müziğinde bir çok tartımsal yapı basit kalıpların tekrarı olarak ele alınıp, bu sayede özilinti tabanlı yöntemlerle analiz edilebilmektedir. Ancak klasik Türk müziğinin birçok usulünde küçük kalıplar daha karmaşık yapılarla tekrar ederler (örnek: çok sık kullanılan 9/8 yapısı 2 2 2 3 veya daha farklı diziler şeklinde icra edilmektedir).

3- Tonalite (tonality): Klasik Türk müziği ile Batı müziği arasındaki en büyük ayrımlardan birisi de bir ezginin ana karakterini veren tonalite konusudur. Batı müziği bu anlamda temel olarak major ve minör olmak üzere iki tonalite içerirken, klasik Türk müziğinde tonalite kavramına karşılık gelen makamların sayısı, bugün güncel olarak 30 makam kullanılmasına karşın aslında bu sayının çok daha üzerindedir. Makamlar hem nota gösteriminde kullanılacak değiştirici işaretler açısından hem perdelerin frekansları açısından oldukça önemli ve belirleyicidir.

4- Ezgisel süslemeler: Batı müziğine kıyasla klasik Türk müziğinde ezgisel süslemeler daha sıklıkla kullanılmakta, bu ise frekans analizini ve nicemlenmesini zorlaştırmaktadır.

Bu sebeplerle, klasik Türk müziğinin notaya dökülmesi için Batı müziğindeki yöntemlerin aynen kullanılması yerine gerekme özgü bir şekilde yeniden tasarlanması gerekmektedir. Bu tasarımda şu farklı öğeler önemlidir: i) standart diapozon varsayımı kullanılmamalıdır, ii) her bir notanın kesin bir frekans değeri yerine belirli bir frekans

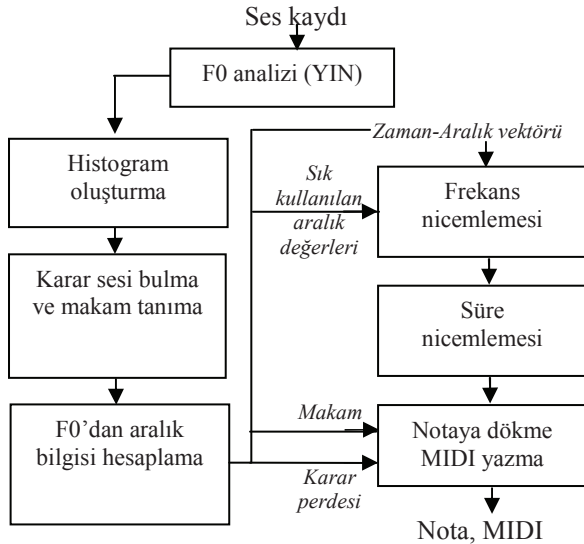
bandı içinde icra edilebilecekleri öngörülmelidir, iii) kuramsal bilgiler yerine mümkün olduğunca veri-güdümlü bir yöntem izlenmelidir, iv) Batı müziği otomatik notaya dökme literatürünün büyük kısmını oluşturan çok sesli notaya dökme daha sonra geliştirilecek bir adım olarak düşünülebilir.

Bu çalışmamızda klasik Türk müziğinin notaya dökülmesi için tasarlanmış yeni bir yaklaşımı sunuyoruz. Bu yaklaşımda ilk olarak standart diapozon eksikliği engelini aşmak için otomatik karar sesi tespiti yapılmakta, frekans değerleri karar sesine göre aralık bilgisine dönüştürülmektedir. Notada kullanılacak değiştirici işaretlerin (diyez ve bemollerin) tespiti için otomatik makam tanıma işlemi otomatik karar tespitiyle beraber gerçekleştirilmektedir. Aralık bilgisine dönüştürülen frekans bilgisinin nicemlenerek karşılık gelen notaların bulunması kuram yerine icranın histogramı ve bölütlenerek bulunan zaman-frekans vektörlerinin ortalama değerleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Süre nicemlemesini takiben notalar liste halinde oluşturulmakta ve MIDI formatında bir dosyaya yazılmaktadır.

Otomatik notaya dökme, Batı müziği için sınırlı düzeyde başarıya ulaşılmış bir araştırma problemidir (Klapuri, 2004, 2006). Bu nedenle geliştirilmiş birçok notaya dökme aracı elle düzeltmeyi mümkün kılan bir arayüz aracılığıyla kullanılmaktadır. Benzer bir şekilde sistemimizin sonuçlarının işitsel olarak test edilerek elle düzeltilebilmesi için bir arayüz tasarlanmıştır. Aşağıda tasarladığımız sistemin açıklaması sunulmuştur. 2.1-2.4 altbaşlıklarında sunulan yöntemlerin detaylı incelemesi daha önceki makalelerimizde ayrı başlıklar halinde detaylı incelenerek sunulmuş olduğu için kısaca bahsedilmiştir. Bu çalışmanın ana katkısı literatürdeki ilk klasik Türk müziği notaya dökme sistem mimarisini sunmasıdır.

2. TÜRK MÜZİĞİ İÇİN BİR OTOMATİK NOTAYA DÖKME SİSTEMİ

Tasarlanan sistemin akış şeması Şekil 1'de verilmiş olup sistem Matlab'da gerçekleştirilmiştir. Adımlar sırasıyla alt başlıklarda açıklanmıştır.



Şekil 1: Otomatik notaya dökme sistemi akış şeması.

2.1. F0 analizi ve histogram oluşturma

Batı müziği için tek sesli/monofonik müziğin temel titreşim frekansının ölçülmesi büyük oranda çözülmüş problemlerden birisidir. Özellikle konuşma işleme alanında çok çalışılmış bir problem olduğu için literatürde onlarca yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin bir kısmı sadece bu problem üzerine yazılmış bir kitapta [9] bulunabilir. Görece yeni yöntemlere konferanslarda sıkça rastlanmaktadır. Ayrıca bu işlemi gerçekleştirecek programlar internet üzerinden sağlanabilmektedir.

Yakın dönem (2000 yılı sonrası) literatür taramasını takiben çeşitli algoritma/araçlar aday olarak seçilmiş veri üzerinde karşılaştırılmışlardır. Bu karşılaştırmanın sonucu YIN algoritmasının [10] kullanılmasına karar verilmiştir [11]. Ek olarak süreklilik koşuluna dayalı kural tabanlı filtreleme adımı eklenmiş, bu eklemeyle başarının artırıldığı gözlenmiştir [12].

Kuramdaki frekans bilgileri yerine icraya dayalı (veri-güdümlü) analiz için öncelikle frekans histogramı hesaplanması gerekmektedir. Bu histogram bir sonraki adımlar olan karar sesi tespiti, otomatik makam tanıma ve icradaki perdelerin frekanslarının bulunması adımlarında kullanılmaktadır. Histogram oluşturulurken Türk müziği için bugüne kadar kullanılmış en yüksek çözünürlüklü ses sistemi (159 ton eşit taksimat) kullanılmıştır: her oktav 159 parçaya temsil edilmiş, bu seçimde kullanılan kriterler [12] içerisinde açıklanmıştır.

2.2. Karar sesi bulma ve makam tanıma

Standart diapozon kullanılmaması sebebiyle mutlak frekans bilgilerinin yerine aralık bilgisinin kullanılmasının daha pratik olacağı açıktır. Aralık bilgisi için en ideal referans karar perdesidir. Karar perdesinin otomatik tespiti, frekans histogramının otomatik öğrenmeyle elde edilen şablon histogramlarla karşılaştırılması sonucu büyük bir başarıyla bulunabilmektedir [7].

Histogram eşleme yöntemi hem karar tespitinde, hem de makam tanımda başarıyla kullanılabilir. Literatürdeki ilk otomatik makam sınıflandırma çalışması olan [7] içerisinde detaylı bir şekilde açıklanmış bu yaklaşım 9 makam sınıfı üzerinden yapılan testlerde ortalama %68 F-ölçüm değeriyle makam tanınması gerçekleştirebilmektedir. Otomatik notaya yazma uygulamasında makamların aralık bilgilerine (makam dizilerine) göre gruplanması ve bu gruplar üzerinden tanıma yapılması yeterli olmaktadır. Sonuç olarak otomatik makam tanıma başarısı, 35 makamın dizilere göre 10 grup altında sınıflandırılmasıyla ortalama %67 F-ölçüm değerine, 35 makamın karar seslerine göre 5 grup altında sınıflandırılmasıyla da %75 F-ölçüm değerine ulaşmıştır [11].

2.3. F0 bilgisinden aralık bilgisi hesaplama ve frekans nicemlemesi

Nota yazımını gerçekleştirebilmek için verili bir müzik kaydına ait f0 değerlerinin, kuramsal perdelere karşılık gelen nota isimleri olarak etiketlenmesi gerekir. Bir müzik icrası ise ses sisteminde tanımlanan perdelere çok daha çeşitli frekans değerleri içerir. Bu farklılığın glissando (bir perdeden diğerine kesintili değil sürekli olarak kayarak geçme) ve vibrato (belirli bir merkez frekans etrafında sürekli bir salınma) gibi ezgisel süsleme teknikleri ile ilgili nedenleri olduğu kadar perdesiz çalgılarla yapılan icralarda, icracının aynı notayı her zaman aynı frekansta icra etmesinin mümkün olmaması da vardır.

Sonuç olarak f_0 değerlerinin, kuramsal perdelere karşılık gelen nota isimleri olarak etiketlenebilmesi için frekans bilgisinin aralık bilgisine dönüştürüldükten sonra nicemlenmesi gerekmektedir. f_0 bilgisinin aralık bilgisine dönüştürülmesi işlemi (sent veya Holder koması gibi) logaritmik bir skalada karar sesi frekansının çıkartılması ile gerçekleştirilebilir.

Nicemleme işleminde öncelikle f_0 eğrisindeki 2 Hc'den daha büyük aralık değişimleri yeni bir nota başlangıcı olarak yorumlanarak f_0 eğrisi bölgelere ayrılır. Bu işlem aynı zamanda notaların başlangıç ve bitiş noktalarının tespit edilebilmesini sağlar. Daha sonra her bir bölge glissando veya vibrato içerip içermediğine göre kural tabanlı bir algoritma ile işlenir. Vibrato olarak tespit edilen bölgeler içerdiği f_0 değerlerinin medyanı hesaplanarak nicemlenir. Glissando olarak tespit edilen bölgeler ise kendi içinde tekrar nicemlenir. Şekil 2.a'da karar sesine referansla elde edilen aralık bilgisi ve nicemlenmiş f_0 verisine örnek sunulmuştur.

2.4. Tartım analizi ve süre nicemlemesi

Batı ve Türk müziklerinin otomatik notaya dökülmesinde ortak bir problem tartımsal (rhythmic) analiz ve notaların sürelerinin tespitidir. Bu alanda literatür geniş ve çeşitli olmasına rağmen, çalışmaların [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [4] ortak paydası tartım analizi için 3 aşamalı bir yöntem kullanılmasıdır: i) Verili ses işaretinden başlangıç noktası tespit işareti elde edilir, ii) Başlangıç noktası tespit işaretinin öz-ilinti fonksiyonu hesaplanır, iii) Öz-ilinti fonksiyonunun tepelerinden başlangıç noktası tespit işaretinin tekrar sıklığı ölçülerek tartım hesaplanır.

Türk müziği kayıtlarının tartım analizi için de bu ortak yöntemin geçerliliği önce MIDI'den sentezlenen verilerle daha sonra da gerçek ses kayıtları üzerinde test edilmiştir [11].

Sonuç olarak bu yöntemin sentetik verilerde başarılı olduğu ancak gerçek verilerde kullanımının oldukça sınırlı olduğu (sadece tam zamanlarda güçlü vuruşlar içeren ve tartımsal yapısı net olan kayıtlarda ölçüm yapılabildiği) gözlenmiştir. Sistemin testinde kullanılan veritabanı büyük oranda tek sesli ve serbest tartımlı kayıtlar olduğu için tartım analizi adımı kullanılmamıştır. Bu konu araştırmaya açık bir alandır.

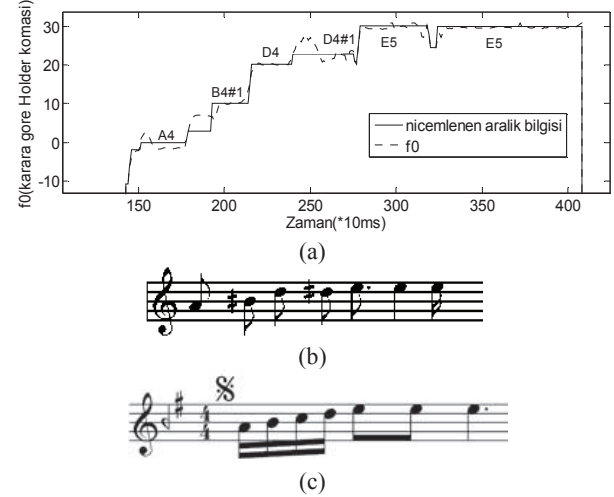
Süre nicemlemesi için ise süre dağılımından 1/16'lık nota süresine karar verilir ve bütün f_0 değer süreleri bu zaman biriminin tam katı olarak nicemlenir.

2.5. Notaya dökme ve MIDI'ye yazma

Türk müziğinde kullanılan nota yazılımlarıyla ilgili bir tarihçeyi [21] yazısında bulmaktayız. Türk müziği için farklı dönemlerde çok çeşitli nota yazım yöntemleri kullanılmıştır. Çeşitli şekilleriyle Ebced, Kindî, Kantemiroğlu notası, Abdülbâki Nâsır Dede notası, Hamparsum notası, Türk notası ve genişletilmiş Batı müziği notası. Bugün yaygın olarak kullanılan Batı müziği notası Türk müziğinin kendine has seslerini gösterebilmek için çeşitli koma diyez ve bemol işaretleriyle genişletilmiştir. Kullanılan bu nota sisteminin Türk müziğinin perdelerini karşılamadığı birçok çalışmada gösterilmiş olmasına rağmen kullanımı yaygındır.

Nicemlenmiş aralık bilgisinin makam bilgisi de kullanılarak nota isimlerine çevrimi için 8 oktavlık bir nota isim tablosu kullanılmıştır. Nota isim tablosu aralık bilgisinin 53 Hc/oktav çözünürlüğüne denk gelecek biçimde oktav başına 53 nota isminden oluşmaktadır. Diğer bir deyişle her

nota arasında 1 Hc fark vardır: C1..C4#1 C4#2 C4#3 C4#4 C4#5 C4#6 C4#7 C4#8 D4..C8. Her bir aralık bilgisinin karar notasına uzaklığı bu tablodan hesaplanarak ilgili aralık bilgisine karşılık gelen nota ismi bulunur. Örneğin karar notası D4 (yegah) olarak bulunan bir parçada bir aralık bilgisi karar sesinden 4 Hc daha pesse, nota isim tablosunda karar notasından itibaren yukarı doğru 4 adım (4 Hc) sonraki nota sesi, yani C4#5 bulunur. Şekil 2.a'da bu şekilde elde edilen bir notaya dökme örneği sunulmuştur.



Şekil 2: Tanburi Cemil Bey'in Hüseyini makamındaki "Çeçen Kızı" adlı eseri icrası. a) aralık bilgisi üzerinden nicemlenen f_0 eğrisi üzerinde bulunan nota isimleri, b) kayıttan otomatik olarak elde edilen nota, c) orijinal nota.

Böylece bir klasik Türk müziği eseri nota isimleri ve süre değerleri ile birlikte bir liste olarak notaya dökülmüş olur. Ancak bu şekilde notaya dökülen parçanın müzisyenler tarafından görsel olarak kullanılabilmesi ve hatalarının işitsel olarak da dinlenerek düzeltilebilmesi için yaygın olarak kullanılan bir veri formatına dönüştürülmesi gerekmektedir.

Bu nedenle bir liste olarak notaya dökülen eseri, bugün yaygın bir iletişim protokolü olarak her bilgisayar işletim sisteminde bulunan ve bir endüstri standardı haline gelmiş olan MIDI (Musical Instrument Digital Interface) [Doan, 1994] protokolünde elektronik dosya olarak yazan bir yazılım gerçekleştirilmiştir. MIDI protokolünde doğrudan ses verisi değil, temel bazı değişkenlere ilişkin sayısal bilgiler aktarılır; nota bilgileri, enstrüman atamaları, nota süre ve tempo değeri gibi bilgiler bunlardan bazılarıdır.

Kayıtlardan otomatik MIDI dosyası oluşturan sistemimiz sayesinde notaya dökme işleminin sonucu rahatlıkla seslendirilebilmekte ve doğruluğu kontrol edilebilmektedir. Aynı zamanda girdi olarak MIDI'ye benzer bir format kullanan Mus2 (<http://www.mus2.com.tr>) Türk müziği nota yazım programı sayesinde Şekil 2.b'de gösterildiği gibi sistemimiz tarafından notaya dökülen bir eser müzisyenlerin görsel olarak kullandığı porte üzerinde temsil edilmiş olur.

Hem bir icranın MIDI olarak kaydedilebilmesi sonucu elde ettiğimiz işitsel gözlemlerimize hem de 50 ms'den kısa müziksel olayların bir ezginin notası olarak algılanmadığına dair deneysel bir çalışmanın [22] sonucuna dayanarak, notaya dökmede bu süreden daha kısa olan müziksel olaylar, bu notaların sürelerinin kendisinden önce ve sonra gelen nota sürelerine eklenerek iptal edilmiştir. Şekil 2.a'da A4

bölgesinden önce ve sonra gelen bölgelerin Şekil 2.b'de isimlendirilmemiş olmasının nedeni bu işlemdir.

Sonuç olarak sistemimizin notaya dökme sürecinin son adımlarını sunan Şekil 2'den görülebileceği gibi bir eserin özgün notaları ile icradan elde edilen notaları arasında belirli bir fark vardır. Bu farklılığın bir kısmı nota değeri ve süre nicemlemesi işleminden kaynaklanırken önemli bir kısmı da özgün notanın hiç bir zaman bir icranın müziksel zenginliğini yansıtamayacak olmasından kaynaklanmaktadır.

Son olarak otomatik notaya dökmede sorunlu bölgelerin elle düzeltmelerinin yapılabilmesi için de bir arayüz tasarlanmıştır. Tasarladığımız arayüzle ilgili tanıtım sunumu <ftp://ftp.iyte.edu.tr/share/ktm-nota/makamAraci.html> adresinde mevcuttur.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türk müziği kayıtlarının otomatik olarak notaya dökülmesini sağlayan bir sistemin mimarisi sunulmuştur. Özetle, girdi olarak bir klasik Türk müziği kaydını kabul eden sistem, çıktı olarak nota isimleri ve süre değerlerinden oluşan bir liste ve bu bilgilerin işitsel olarak dinlenebileceği MIDI formatında bir kayıt vermektedir. MIDI'ye benzer bir formatı girdi olarak kabul eden Mus2 yazılımı sayesinde de sistem, notaları müzisyenlerin kullandıkları porte üzerinde görsel olarak temsil etmektedir.

Ayrıca, sistemin otomatik notaya dökme işleminin adımlarını oluşturan f0 analizi, histogram hesaplama, karar sesi ve makam grubunu bulma, f0 ve süre nicemlemesi, aralık hesaplama süreçlerinin her biri yüksek oranda da olsa belirli bir başarı oranıyla gerçekleştiği için nota yazımındaki sorunlu bölgeleri kullanıcıların düzeltmelerine olanak tanıyan bir arayüz tasarlanmıştır.

Ağırlıklı olarak Batı müziği üzerine çalışılan bir araştırma alanında ilk kez Batı-dışı bir müzik geleneği için bu kapsamda bir sistem tasarlanmıştır. Müzik bilgi erişim alanının önemli bir kısmının sembolik veriler üzerinden yapıldığı düşünüldüğünde, otomatik notaya dökme işleminin birçok çalışmanın ön adımı olarak kullanılabilmesi açıktır. Bu anlamda, sistemimizin Türk müziği için müzik bilgi erişim alanında seyir analizi, melodik analiz, otomatik bölütleme gibi birçok çalışmanın önünün açma potansiyeli bulunmaktadır.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir. (Proje No: 107E024)

5. KAYNAKÇA

- [1] Bello, J. P., "Towards the automated analysis of simple polyphonic music: A knowledge-based approach", *Ph.D. thesis*, Univ. of London, 2003.
- [2] Hainsworth S. W., "Techniques for the automated analysis of musical audio", *Ph.D. thesis*, Cambridge Univ., 2003.
- [3] Klapuri, A. "Signal Processing Methods for the Automatic Transcription of Music", *PhD thesis*, Tampere University of Technology, 2004.
- [4] Shigeaki K., *Automatic transcription device*, Japanese Patent Application Publication, JP5127668, 25 March 1993.

- [5] Alexander, J. S., K. A. Daniel, T. G. Katsianos, *Apparatus for detecting the fundamental frequencies present in polyphonic music*, United States Patent Application Publication, Pub. No. US 2001/0045153 A1, Nov. 29, 2001.
- [6] Masahiro, K., *Transcription method and transcription system*, Japanese Patent Application Publication, JP2002278544, Sept. 27, 2002.
- [7] Gedik, A. C. and Bozkurt, B., "Pitch Frequency Histogram Based Music Information Retrieval for Turkish Music", *Signal Processing*, vol.10, pp.1049-1063, 2010.
- [8] Yarman, O., "79-tone tuning & theory for Turkish maqam music". *PhD Thesis*, İstanbul Technical University, Social Sciences Inst., İstanbul, 2008.
- [9] Hess, W., *Pitch Determination of Speech Signals: Algorithms and Devices*, ISBN: 0387119337, Springer, 1983.
- [10] de Cheveigne, A., Kawahara, H., "YIN, a fundamental frequency estimator for speech and music", *Journal of the Acoustical Society of America*, 111 (4): 1917-1930, 2002.
- [11] Bozkurt, B., Gedik, A.C., Savacı, F.A., Karaosmanoğlu, M.K., Özbek, M.E., (2010). *Klasik Türk müziği kayıtlarının otomatik olarak notaya dökülmesi ve otomatik makam tanıma*, Teknik Rapor, ftp://ftp.iyte.edu.tr/share/ktm-nota/107E024_SonucRaporu_Eylul2010.pdf
- [12] Bozkurt, B., "An automatic pitch analysis method for Turkish maqam music", *Journal of New Music Research*, 37(1), pp: 1-13, 2008.
- [13] Dixon, S., "Automatic extraction of tempo and beat from expressive performances", *Journal of New Music Research*, 30/1, 39-58, 2001.
- [14] Raphael C., "Automated rhythm transcription", *Proc. of International Symposium on Music Information Retrieval*, Indiana, pp: 99-107, Oct. 2001.
- [15] Moelants, D., Rampazzo C., "A computer system for the automatic detection of perceptual onsets in a musical signal", in *KANSEI, The Technology of Emotion*, ed: Camurri A., pp: 140-146, 1997.
- [16] Goto, M., Muraoka Y., "Real-time rhythm tracking for drumless audio signals, chord change detection for musical decisions", *Proc. of IJCAI-97 Workshop on Computational Auditory Scene Analysis*, pp: 135-144, 1997.
- [17] Scheirer, E. D., "Tempo and beat analysis of acoustic musical signals", *Journal of the Acoustical Society of America*, 103/1, 588-601, 1998.
- [18] Laroche, J., "Estimating tempo, swing and beat locations in audio recordings", *Proc. of Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, New Paltz, New York, Oct., 2001.
- [19] Sethares, W. A., Staley T. W., Meter and periodicity in musical performance, *Journal of New Music Research*, 22/5, 149-158, 2001.
- [20] Goto M., Muraoka Y., "Real-time rhythm tracking for drumless audio signals, chord change detection for musical decisions", *Proc. of IJCAI-97 Workshop on Computational Auditory Scene Analysis*, pp: 135-144, 1997.
- [20] Çevikoğlu, T., Türk Müsiki'sinde Notanın Tarihiçesi, <http://www.turkmusikisi.com/nota/tarihce/tarihce.htm>.
- [21] Warren, R.M., Gardner, D.A., Brubaker, B.S., & Bashford, J.A., Jr., "Melodic and nonmelodic sequences of tones: Effects of duration on perception", *Music Perception*, 8, pp: 277-289, 1991.