

Türk Müziği İcralarının Analizi için bir MIDI Projesi

Ali C. GEDİK*

Özet

Müzik teknolojisi alanındaki bu çalışmamız Türk müziği icralarının MIDI formatına dönüştürülmesi yöntemini uygulamalı örneklerle birlikte açıklamaktadır. MIDI formatı yaygın olarak batı müzikleri için kullanılan simgesel bir müzik temsil formatı olmasına karşılık içerdiği perde kaydırma (pitch bend) işlevi sayesinde, Türk müziği gibi Batı müziğinin 12 ton eşit yedirimli ses sisteminden farklı ses sistemlerini de temsil edebilme kapasitesine sahiptir. Bu anlamda Türk müziği'nin MIDI formatıyla temsil edilmesi çeşitli çalışmalarda gerçekleştirilmiş ve kendi başına herhangi bir yenilik içermemektedir. Diğer yandan bu tür çalışmalarda MIDI'nin temsil ettiği şey notası yazılı olan eserlerdir. Oysa Türk müziği icralarının notasyon ile ilişkisinin problemli olduğu bilinmektedir. Kısaca kuram ve icra arasındaki farklılıklar nedeniyle notasyon ile temsil edilemeyen perdeler vardır. Bu nedenle bu çalışmanın özgünlüğü icradaki perde zenginliğini MIDI formatında nasıl temsil edilebileceğini göstermesidir. Böylece bu çalışmada Türk müziği üzerine araştırmalarda kullanılacak yeni bir araç tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geleneksel Türk sanat müziği, Türk müziği, MIDI, perde sistemleri, perde aralıkları.

A MIDI Project for the Analysis of Turkish Music Performances

Abstract

Our study within the domain of Music Technology presents the method of writing Turkish music performances in MIDI format by applied samples. Although MIDI format is a kind of symbolic representation of music widely used for Western music, the pitch bend function enables MIDI to represent musics which do not have 12 tone equal tempered tuning system such as Turkish music. In this sense representation of Turkish music in MIDI format has been achieved in various studies. On the other hand only the notation of pieces were represented in such studies. It is well known that the relation between the notation and performance has serious problems. Briefly there exists pitches performed in Turkish music which have no correspondence in notation. Therefore, contribution of our study is the presentation of the richness of pitches in performances by writing them in MIDI format. Finally, this new tool can be used for the ethnomusicological and educational studies on Turkish music.

Keywords: Traditional Turkish art music, Turkish music, MIDI, tuning systems, pitch intervals.

1. Giriş

Müzik teknolojisinin bilim (örn. elektrik ve bilgisayar mühendisliği), teknoloji (örn. ses mühendisliği) ve sanat (örn. elektronik müzik besteciliği) ayaklarından oluşan bir çalışma alanı olduğu düşünülürse (Boem, 2007: 9), bu çalışmanın temel olarak bilim ayağına karşılık geldiği belirtilmelidir. Bu anlamda müzik üzerine çalışan elektrik ve bilgisayar mühendislerinin önemli bir araştırma alanı müzik bilgi erişim (*music information retrieval*) sistemleridir.

MBE (müzik bilgi erişim) alanındaki çalışmalar temelde Batı müzikleri üzerine odaklanmakla birlikte, son zamanlarda Batı-dışı müzikler üzerine çok az sayıda da olsa çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Ancak bu çalışmaların çoğu Tzanetakis vd.nin (2007: 12) belirttiği gibi mühendislerin Batı müzikleri için geliştiren sistemleri Batı-dışı müzikler için kullandığı çalışmalardır. Örneğin Arap müziğinde kullanılan ney çalgıları için gerçekleştirilen hesaplamalı (*computational*) bir çalışma (Al-Tae vd., 2009), bu müziğin Batı müziğinden farklı bir ses sistemine sahip olmasına karşın 12 ton eşit yedirimli ses sistemini temel alarak gerçekleştirilmiştir. Benzer bir biçimde Kuzey Hindistan müziği üzerine gerçekleştirilen bir başka hesaplamalı çalışmada da (Krishnaswamy, 2003) Batı müziği ses sistemini kullanılmıştır.

Diğer yandan son yıllarda GTSM (geleneksel Türk sanat müziği) üzerine, bu müzik kültürüne özgü ses sisteminin dikkate alındığı mühendislik çalışmaları yapılmıştır (Akkoç, 2002; Bozkurt, 2008; Bozkurt vd., 2009; Gedik ve Bozkurt, 2009, 2010). Bu çalışmaların ortaya koyduğu en önemli katkı kuramcılar ve icracılar tarafından uzun yıllardır bilinen kuram ve icra arasındaki farklılıkların bu müziğin ustaları tarafından gerçekleştirilen yüzlerce kaydın hesaplamalı olarak incelenmesiyle olgusal biçimde gösterilmesidir. Özellikle Gedik ve Bozkurt'un (2009) çalışması Türkiye'de GTSM eğitiminde en yaygın olarak kullanılan ve bir tür 'resmi kuram' olarak adlandırılabilir Arel-Ezgi-Uzdilek (AEU) kuramının icra ile uyumadığını müzik kayıtlarının analizi yoluyla göstermesi açısından önemlidir.

Özel olarak GTSM'nin MIDI olarak temsil edilmesi üzerine yapılan çalışmalara bakılacak olursa bu alandaki önemli çalışmalardan birisi Gedik vd.nin (2005) otomatik makam sınıflandırma çalışmasıdır. Ancak bu çalışmada da GTSM yapıtlarındaki Batı müziği ses sistemi dışında kalan

perdeler en yakın Batı müziği perdelerine indirgenerek gerçekleştirilmiştir. GTSM'nin MIDI olarak temsil edildiği bir başka çalışma ticari bir program olarak da kullanımda olan MUS2 (<http://www.mus2.com.tr>) yazılımıdır. Bu yazılım temelde GTSM notalarının MIDI formatına dönüştürülmesi ve kütüphanesinde varolan notaların hem MIDI olarak dinlenilmesini hem de notasyon olarak görüntülenmesini sağlamaktadır. Diğer yandan hem notasyon kullanımı belirli bir kuramla ilişkili olduğu için hem de zaten varolan notaların MIDI temsiline dayandığı için bu çalışma kuram ve icra arasındaki problemleri de içinde barındırmaktadır. Kuramla olan bu birebir ilişkisine rağmen MUS2 yazılımı kuramda tanımlanan perdelerin dışındaki perdeleri de temsil etme kapasitesine sahiptir.

Karaosmanoğlu'nun çalışması (2012) ise GTSM üzerine varolan MIDI literatüründe bir adım ilerisini temsil etmektedir. Her ne kadar bu çalışma da varolan GTSM notalarının MIDI formatında temsil edilmesine dayansa da kuram ve icra arasındaki uyumsuzluğa dair bir çözüm önermektedir. Bu çözüm icrada varolan ancak kuramda temsil edilmeyen tanımlı belirli perdelerin de temsil edilebilmesidir. Örneğin uşşak makamının icrasında kullanılan segâh perdesinin kuramda temsil edilen segâh perdesinden 1 Holder koması (Hk) pes olması bu çalışmada MIDI formatında temsil edilebilmektedir. Gedik'in (2012) GTSM kayıtlarını otomatik notaya dökme çalışması ise hem icradan yola çıkması hem de icraları MIDI formatında temsil etmesi bakımından yukarıda anılan çalışmalardan ayrılmaktadır. Ancak bu çalışmada da icradan yola çıkılmasına karşın MIDI temsili icra edilen perdelerin AEU kuramındaki en yakın perdelerle yakınsanmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu anlamda çalışmamızın literatürde yer alan diğer çalışmalardan farkları şu şekilde sıralanabilir:

1. Çalışmaya temel oluşturan sistem (Gedik, 2012) GTSM için geliştirilmiş olmasına karşın Türkiye'deki bir çok müzik kültürünün GTSM ile ortak müziksel özellikler taşımaktadır. Bu anlamda çalışmamız sadece GTSM ile sınırlı kalmayıp genel olarak Türk müziğine uyarlanabilme kapasitesi vardır.¹
2. Çalışmada MIDI temsili herhangi bir eserin notası yerine doğrudan icrayı kaynak olarak kullanmaktadır.

Geliştirilen teknolojinin literatüre en önemli katkısı herhangi bir kuramla ilişkilenecek zorunda olmadan icra edilen perdeleri istenilen çözünürlükte otomatik olarak MIDI formatında yazabilmesidir.

Diğer yandan bu sistemin müzik araştırmacılığında kullanılabilmesi için MIDI formatında temsil edilen icraların belirli bir notasyonda yazılmasının kolaylaştırıcı olacağı açıktır. Belirli bir notasyon sistemini kullanmak ise doğal olarak belirli bir kuramla ilişkilenecek anlamına gelecektir.

Projenin amacı müzik araştırmacılığı için teknolojik bir araç geliştirmek olduğu için icraların MIDI formatındaki çözünürlüğünü, GTSM üzerine yapılan müzik araştırmalarında yaygın olarak kullanılan Arel-Ezgi-Uzdilek (AEU) notasyon sistemi ile daha fazla uyumlu olan 53 Holder koması (Hk) olarak belirlendi.² Belirli bir notasyon sistemi kullanılması aynı zamanda icraları MIDI formatında temsil eden sistemin başarısını gösterebilmek için varolan notalarla karşılaştırılabilmesini de sağlamaktadır.

Sonuç olarak makalenin sonraki bölümünde GTSM icralarının MIDI aracılığı ile çeviriyazımının yapılması açıklanmakta ve bu anlamda geliştirilen yapımsal ve teknolojik yenilikler sunulmaktadır. Son bölümde ise çalışma değerlendirilerek eksikleri tartışılmakta ve ileride yapılabilecek çalışmalara dair öneriler getirilmektedir.

Bu makale kuram ve icra arasındaki problemlere dair herhangi bir kuramsal çözüm önermemektedir. Tam tersine öncelikle icranın kurama olan önceliğini vurgulamaktadır. Bu anlamda gerçekleştirilen projenin, müzisyenlerin icralarının yer aldığı kayıtların MIDI aracılığı ile çeviriyazımının yapılmasının ve herhangi bir müzik kültürüne ilişkin önemli bir yol göstericilik sağlayacağını da düşünüyoruz. Bu tür bir olanak sadece icracılar ve kuramcılar için değil, aynı zamanda müzikologlar için de müziğin düşünsel ve estetik boyutlarını anlamak ve araştırmak için önemli bir araç olabileceği anlamına gelir.

2. GTSM İcralarının MIDI formatına dönüştürülmesi: Yapımsal ve Teknolojik Yenilikler

GTSM icralarının MIDI formatına dönüştürülmeleri için öncelikle icralara dair ses kayıtlarının sinyal işleme ve örüntü tanıma yöntemleri ile analiz edilmesi gerekmektedir. Bu tür bir çalışma yazar tarafından gerçekleştirilmiş olup ayrıntıları

Gedik (2012)'de görülebilir. Bu nedenle burada bu aşamanın çok kısa bir özeti verilecektir. Bir icranın MIDI dönüştürülmesi için gerçekleştirilmesi gereken adımlar şunlardır:

- i. Ses kaydının temel titreşim frekansının (f_0) hesaplanması.
- ii. Otomatik makam tanıma ve icranın karar perdesinin hesaplanması.
- iii. f_0 bilgisinin nicemlenmesi (*quantization*): Nicemleme işlemi iki aşamada gerçekleştirilir; ilk aşamada f_0 bilgisi en yakın verili çözünürlük değerlerine (örn. 53Hk) atanır, ikinci aşamada ise GTSM'de yoğun bir biçimde kullanılan vibrato, glissando vb. süslemeye dönük perde icralarının sadeleştirilmesidir. Örneğin bir vibrato bölümü tek bir perde değerine indirgenmiştir. Nicemleme işlemi 2.5. Bölümde Şekil 2.b'de bir örnek üzerinde görülebilmektedir.

MIDI dönüşümü için MATLAB 2009a platformu kullanılarak yazar tarafından tasarlanan bir yazılım kullanılmıştır. Bu yazılım bir icra kaydından elde edilen yukarıdaki bilgileri MIDI formatına dönüştürme süreci için girdi olarak kullanılmakta ve işlem otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Bu anlamda geliştirilen sistem herhangi bir kuramla ilişkili olmak zorunda kalmadan istenilen çözünürlükte GTSM icralarını MIDI formatına dönüştürebilmektedir. Böylece istenilen çözünürlük değeri bir değişken olarak sisteme girildiği olarak verilebilmektedir. Girişte açıklanan nedenlerden dolayı ise bu çalışmada çözünürlük değeri 53 Hk olarak belirlendi. Bu noktada belirlenen 53 Hk çözünürlüğünün AEU kuramı ile ilişkisini açıklamak gerekiyor.

Holder koması ne Yekta ne de Arel-Ezgi-Uzdilek (AEU) tarafından önerilmiş bir sistemdir. Tam aksine AEU kuramı Yarman'ın (2009) gösterdiği gibi Pisagor sisteminin bir versiyonudur. AEU'nun sistemi 24 ton eşit olmayan taksimata dayalıdır. Ayrıca Holder komasının Arap müziği veya Türk müziği ile ilişkilenecek olması bu yedirimin bu müzik kültürlerine özgü olduğunu göstermez. M.Ö. 45'de Ching-Fang bu koma değerini hesaplamış, ortaçağ Avrupa müzik tezlerinde de bu koma değeri kullanılmıştır (Tauma 1996: 23).

Geleneksel olarak 17 perdeden oluştuğu belirtilen (Tura, 1988: 57) GTSM için Oransay 29, Töre ve Karadeniz (1965) 41, Yarman (2010) 24, Yavuzoğlu (2008) 48 perde önerilerini getirmişlerdir. Dolayısı ile bu çalışmada 53 Hk

çözünürlükte bir temsil kullanmak GTSM icralarını diğer kuramlardan farklı olarak 53 perde ile temsil etmek anlamına gelmektedir. Diğer yandan Töre ve Karadeniz'in (1965) önerdiği 41 perdeli sistem 53 Hk'dan yola çıkarak elde edilen 10600 cent'lik bir çözünürlük üzerinden tanımlanmıştır. Ancak bizim kullandığımız çözünürlükle bu kuramın kullandığı perdeler arasında önemli farklar vardır. Bu farklar Bozkurt vd. (2009) tarafından yapılan hesaplamalı çalışmada ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Tanburi Cemil (tanbur, kemençe, viyolonsel), Mesut Cemil (tanbur, viyolonsel), Ercüment Batanay (tanbur), Fahrettin Çimenli (tanbur), Udi Hrant (violin), Yorgo Bacanos (ud), Aka Gündüz Kutbay (ney), Kani Karaca (vocal), Bekir Sıdkı Sezgin (vocal), Necdet Yaşar (tanbur), İhsan Özgen (kemençe) ve Niyazi Sayın'ın (ney) toplam 9 makamdaki 128 kaydının analiz edildiği bu çalışmada 53 Hk koma çözünürlüğü, Yarman'ın 24, Töre-Karadeniz'in 41 ve Arel-EzgiUzdilek'in 24 perdeli sistemleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak 53 Hk çözünürlüğünün bu kuramlar arasında icraya en yakın sistem olduğu gösterilmiştir. Töre-Karadeniz sisteminin ise en başarısız 2. Kuram olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu sonuçların gösterdiği gibi 53 Hk çözünürlüğünün Töre-Karadeniz sistemi ile ilişkisi oldukça zayıftır. Diğer yandan bu çözünürlüğün ilişkili olduğu söylenebilecek sistem AEU sistemidir. Bu ilişki ise 53 Hk çözünürlüğünün AEU sistemindeki 24 perdeyi kapsıyor olmasıdır. Bu anlamda geliştirdiğimiz teknolojinin Holder koması yerine cent birimini kullanmasının önünde herhangi bir engel yoktur. Teknolojimizin GTSM icralarını örneğin 1200 cent/oktav çözünürlüğünde MIDI olarak kaydetmesi mümkündür. Ancak bu tür bir çözünürlüğü notasyon olarak göstermek için müzikologlar ve müzik eğitimcilerinin kullanmadığı yeni bir notasyon sistemi önermemiz gerekecekti ve en önemlisi de sistemimizin başarısını ölçebilmek için kullandığımız varolan GTSM notalarını kullanmak mümkün olmayacaktı.

2.1. MIDI Değerlerinin Hesaplanması

Ölçülen frekans bilgisinin karar sesine göre Holder koması cinsinde aralık bilgisine dönüştürülmesi basitçe aşağıdaki formülle gerçekleştirilebilir.

$$I_i = \log_2 \left(\frac{f_0^i}{f_0^k} \right) * 53$$

Bu formülde f_0^i (hertz cinsinden) ölçülen i . frekans değeri, f_0^k , (hertz cinsinden) karar sesi frekans değeri ve I_i Holder koması cinsinden aralık bilgisidir.

Belirli bir makamdaki bir yapıtın karar sesinin hangi perdeye karşılık geldiği önemlidir. Örneğin bir segâh taksim icrasını notaya dökerken, (Hertz cinsinden frekansı ne olursa olsun) karar sesine karşılık gelen bölgelerin *segâh* (B4b1) olarak yazılması gerekmektedir. MIDI ise Batı müziği aralık sistemine göre tasarlanmış bir protokol olup batı müziğindeki en küçük aralık olan yarım ses aralığı MIDI'de 1 adıma karşılık gelmektedir. Aşağıdaki tabloda notalara karşılık gelen MIDI numaraları verilmiştir.

#	MIDI Nota Numaraları											
	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B
2	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
3	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
4	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
5	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
6	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95

Tablo 1. 2. ve 6. Sekizli/Oktav arasındaki MIDI nota numaraları.

1 sekizli/oktav, MIDI gösteriminde 12 adıma, Holder koması cinsinden ise 53 adıma karşılık gelmektedir. Bu sebeple aralık bilgisinin MIDI ve Holder koması adımları cinsinden dönüşümü basit bir oranlama işlemiyle yapılabilir:

$$I_{MIDI} = I_{Hk} \times 12/53$$

Bu noktada artık hem karar sesine karşılık gelen perde ismi, hem bu karar sesine karşılık gelen MIDI numarası hem de nicemlenmiş karar sesine göre (MIDI cinsinden) aralık değerleri bulunmaktadır. Her bir nicemlenmiş bölgeye karşılık gelen MIDI numarası aşağıdaki formülle bulunur.

$$MIDI_No_i = MIDI_No_k + I_{MIDI}$$

Örneğin segâh makamı için perde ismi *segâh* (B4b1) dir. B4b1 perdesinin MIDI numarasının bulunması için b1 1 Hk'ya karşılık geldiği düşünülecek olursa aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$I_{Hk} = -1,$$

$$I_{MIDI} = -1 \times 12/53,$$

$$MIDI_No_k = 71, B4 için MIDI numarası$$

$$MIDI_No_i = 71 - 12/53$$

Diğer yandan elde edilen standart MIDI numaraları dışında kalan bu MIDI numaraları doğrudan MIDI yazımında kullanılmamaktadır. Bunun yerine bir sonraki altbaşlıkta açıklandığı gibi standart MIDI numaraları dışında kalan MIDI numaralarının *pitch bend* işlevi ile MIDI mimarisine uygun bir formata dönüştürülmesi için kullanılmaktadır.

Son olarak, frekansı nicemlenmiş bölgelerin sürelerinin de nicemlenmesi gerekmektedir. Bu, notaları dörtlük, sekizlik, otuzikilik gibi en küçük zaman biriminin tam katları şeklinde gösterme gereğinden kaynaklanmaktadır. Süre nicemlemesi, en küçük zaman değerli notanın süresi 1/16'lık nota olarak temsil edilmesi ve bütün bölgelerin sürelerinin bu zaman biriminin tam katı olarak nicemlenmesi şeklinde elde edilmiştir.

2.2. MIDI Formatında Dosya Yazımı

MIDI verisi 16 ayrı kanal üzerinden çeşitli mesajların seri olarak okunup kaydedildiği bir formata sahiptir. Temel olarak MIDI veri formatı *status byte*'i (SB) takibeden 1 ya da 2 *data byte*'tan (DB) oluşur. MIDI veri formatına örnek olarak aşağıdaki tabloda SB ve DB'nin nasıl kullanıldığı gösterilmektedir.

Status Byte (SB)		Data Byte 1 (DB1)	Data Byte 2 (DB2)
Note-on/off (On)	Channel # (15)	Note # (60=C4)	Velocity (19)
1001	1111	0011 1100	0001 0011

Tablo 2. MIDI veri yapısı (Durmaz, 2000: 38).

SB'nin ilk 4 biti notanın basılı olup olmadığını (*Note-on/off*), ikinci 4 biti de verinin hangi kanaldan (kanal 15) gönderileceğinin bilgisini taşımaktadır. DB1 ve DB2 ise sırasıyla hangi notanın (4. oktavdaki Do notası) hangi şiddette (19 şiddetinde) basıldığı bilgisini taşımaktadır.

MIDI verileri çok kabaca 4 tip mesaj altında sınıflandırılabilir. Bu mesaj tipleri: temel icra, program değişimi, kontrol değişimi ve sisteme özel mesajlardır.³ Bu mesajlar arasında Türk müziği icralarının MIDI formatında yazımı açısından en önemli mesaj, temel icra mesajları altında yer alan *pitch bend* (perde kaydırma) mesajıdır. Bu mesaj sayesinde Batı müziği için belirlenmiş standart MIDI notaları dışında kalan notaların MIDI formatında okunup yazılması

olanaklıdır. Aşağıdaki tabloda *pitch bend* mesajının veri yapısı bir örnek üzerinden gösterilmektedir.

Status Byte (SB)		Data Byte 1 (DB1)	Data Byte 2 (DB2)
Pitch bend code	Channel # (1)	Most Sig. Bit (MSB)	Leas Sig. Bit (LSB)
1110	0001	0011 1100	0001 0011

Tablo 3. Pitch Bend mesajı veri yapısı.

Pitch bend verisi SB'nin ilk 4 biti *pitch bend* kontrol komutunu (1110), ikinci 4 biti ise kanal numarasını (kanal 1) verir. DB1 ve DB2 ise sırasıyla kaba (MSB) ve hassas (LSB) olmak üzere toplamda perde kaydırma değerini verir. *Pitch bend* için DB1 (MSB) ve DB2'nin (LSB) ilk bitleri kullanılmadığı için kaydırma değerinin 14 bitlik bir veri yapısı vardır. Bu anlamda perde kaydırma miktarının ondalık sayı olarak en yüksek değeri 16383'dir. Yine ondalık sayı olarak 8192 değerinde bir kaydırma değeri verili nota değerinin değiştirilmemesi anlamına gelir. Yani bir notanın 8192 değerinden 16383 değerine kaydırılması ilgili notanın 1 tam ses tizleşmesine, 0 değerine kaydırılması ise ilgili notanın 1 tam ses pesleşmesi anlamına gelir. Tablo 3'te sunulan örnekte MSB, 011 1100 değerinde, LSB ise 001 0011 değerindedir. Bu 14 bitlik verinin ondalık sayı olarak karşılığı 7699'dur. Yani verili bir nota 8192-7699 = 493 değerinde pesleşecektir.

Örnek olarak Do4 notası basılı iken 16383 değerinde bir perde kaydırma ilgili notanın Re4 (1 tam ses tiz) olarak icra edilmesine, 0 değerinde bir perde kaydırma ise ilgili notanın Si3b (1 tam ses es) olarak icra edilmesine neden olacaktır. *Pitch bend* mesajı kullanılarak perde kaydırma değerlerinin Türk müziği kayıtlarının MIDI formatında okunup yazılabilmesindeki asıl anlamı da buradadır.

Bu anlamda *pitch bend* mesajı sayesinde 1 tam sesi 8192 eşit parça olarak temsil etmek, AEU sistemi ile tam olarak örtüşmeyen perde aralıklarının dahi çok yüksek bir çözünürlükte MIDI formatında okunup kaydedilmesini sağlayabilmektedir.

2.3 İcranın MIDI Formatına Dönüştürülmesi

Bu çalışmada GTSM kayıtlarının MIDI formatına dönüştürülmesinin temel amacı icra için bir notasyon sağlamak olmadığı için, MIDI yazımında MIDI notaları ve nota süreleri

dışındaki tüm parametreler sabit olarak tutulmuştur. Bu parametrelere aşağıda MIDI yazımının nasıl gerçekleştirildiği açıklanırken değinilecektir.

MIDI veri yapısının seri olarak kaydedilip okunacak şekilde tasarlandığı yukarıda açıklanmıştı. MIDI verisi bu anlamda ardışık olarak *header chunk*, meta olayları ve MIDI olayları olmak üzere ardışık veri dizilerinin bir araya gelmesinden oluşur. *Header chunk* dizisi standart bir 4 baytlık kodla başlar: 77 85 104 100. Bu kodu takiben *Header chunk* dizisinin uzunluğunu belirten 4 baytlık veri gelir. Daha sonra dosya formatı dizisi ise dosyanın kaç kısımdan oluştuğuna dair bilgi veren 2 baytlık bir veri gelir.

0: tek kısım (single track)

1: çok kısımlı (multi track) eş zamanlı

2: çok kısımlı (multi track) ard zamanlı

Header chunk son olarak 2 baytlık kısım sayısı bilgisi ve MIDI verisinin uzunluğunu belirten 4 baytlık veri ile sona erer. Burada kısım (*track*) sayısının anlamı ilgili MIDI kanalı içindeki müzik kaydında, örneğin vurma çalgıları, ezgi ve armonik eşlik gibi ayrı bölümlerin ayrı kısımlar olarak yazılmasına olanak sağlanması ile ilgilidir. Bu çalışma sadece tek sesli müzik kayıtları ile sınırlı olduğu için MIDI verisi içindeki bu parametre sabit olarak 0, yani tek kısım olarak alınmıştır. Bu nedenle yine *header chunk* dizisi içindeki kısım sayısı parametresi de sabit olarak 1 olarak alınmıştır. Sabit olarak alınan diğer parametreler tempoyu belirleyen tempo ve *ticks per quarter note* parametreleridir. Bu parametreler de sırasıyla 500000 ve 300 olarak alınmış ve saniye cinsinden nota süre değerlerinin MIDI verisine dönüştürülmesinde yine bu parametre değerleri kullanılarak notaların gerçek süre değerlerinde icra edilmesi sağlanmıştır. Son olarak MIDI veri uzunluğu bilgisi ise en son ilgili müzik kaydının MIDI formatına dönüştürülmesinden sonra veri uzunluğu hesaplanarak kaydedilir.

Header chunk dizisini takiben kontrol ve program değişim mesajları dizisi gelir. MIDI yazımında kullandığımız kontrol mesajı hangi çalgının seçileceğidir. 176 kodu kontrol değişimi olacağını belirtirken, 0 kodu çalgı bankasından çalgı seçimi yapılacağını belirtir. Bu dizinin ardından gelen program değişimi kodu ise seçilen çalgıyı belirtir. MIDI yazımı için 'ney' sesine benzeyen 75 kodlu çalgı sabit olarak

seçilmiştir. Son olarak tüm kanallar için sabit bir nota çalma şiddeti değeri belirleyen 208 kodlu *channel pressure* mesajı sabit 96 değeri ile birlikte kullanılmıştır.

MIDI yazımında sabit olarak kullanılan bir diğer veri ise MIDI verisinin en sonunda yer alan ve kaydın sona erdiğini belirten 4 baytlık bir mesajdır: 24 255 47 0. Böylece geriye aşağıda gösterildiği gibi *header chunk* veri dizisinin ardından gelen program ve kontrol değişim mesajları ile kayıt sonu mesajı arasına, çalınma sırasına göre nota ve süre değerlerine dair mesajları eklemek kalır:

- *Header chunk* mesajları
- Program Değişimi mesajı
- Kontrol değişimi mesajı
- Nota ve süre değerleri mesajları
- Kayıt sonu mesajı

Nota ve süre değerleri mesajlarında ise her bir nota için sabit bir ses şiddeti (*velocity*) değeri, 70 kullanılmıştır. Sonuç olarak MIDI verisi içine yazılacak olan 3 değişken parametrenin sırasıyla belirlenmesi işlemi kalmaktadır: perde değeri, *pitch bend* değeri, süre değeri. Bu parametre değerleri ise ses kaydından elde edilen MIDI matrisi içinden çekilerek kullanılmıştır.

MIDI nota değerinin nasıl elde edildiği bölüm başında açıklanmıştı. Batı müziği için tam sayı olan MIDI nota numaralarının Türk müziği kayıtları için kesirli olarak nasıl ifade edildiği de bir MIDI matrisi örneği üzerinden yine bölüm başında gösterilmişti. Bu kesirli MIDI nota değerlerinin MIDI formatına nasıl dönüştürüldüğü aşağıda bir örnek üzerinden açıklanmaktadır. Örnek olarak elimizde 60.5 nota değeri olsun. Bunun anlamı MIDI nota numarası 60 (Do4) olan notanın 0.5 değerinde tizleştirilmesi gerektiğidir. Şimdi *pitch bend* mesajı kullanılarak bunun nasıl gerçekleştirildiğini görelim.

Öncelikle bir tam sesin *pitch bend* mesajında 8192 eşit parçaya bölündüğünü (Durmaz, 2000: 60) bir kez daha belirtelim. Bir tam ses aralığı MIDI nota numaralarında 2 değerine karşılık gelir. Örneğin aralarında yarım ses aralığı olan ve sırasıyla 60, 61 ve 62 MIDI nota numaraları ile temsil edilen Do4, Do#4 ve Re4 notaları ele alındığında aralarında bir tam ses aralık olan Do4 ve Re4 notalarının MIDI nota

numaraları farkı (62-60) 2'dir. Buradan bir yarım ses aralığın *pitch bend* mesajında 4096 eşit parçaya bölündüğü sonucu rahatlıkla çıkarılabilir.

Örneğimize dönersek MIDI nota numarası 60 olan Do4 sesinin 0.5 değerinde tizleştirilmesi $0.5 \times 4096 = 2048$ değerinde bir *pitch bend* uygulanması anlamına gelecektir. *Pitch bend* mesaj yapısında 0 bilgisinin ilgili notayı 8192 değerinde pesleştirdiği, 8192 bilgisinin ilgili notayı değiştirmeden bıraktığı ve 16383 bilgisinin de ilgili notayı 8192 değerinde tizleştirdiği düşünülecek olursa ilgili notanın pesleştirilme ve tizleştirilme işlemi 8192 *pitch bend* bilgisi merkeze alınarak yapılmalıdır. Öyleyse 2048 değerinde bir tizleşmeyi ifade etmek için merkez *pitch bend* bilgisi 8192'ye bu değer eklenmeli ve $8192 + 2048 = 10240$ değeri kullanılmalıdır.

MIDI mesajı olarak bu bilgi MIDI formatında aşağıdaki tabloda gösterildiği biçimde kodlanır.

Status Byte (SB)		Data Byte 1 (DB1)	Data Byte 2 (DB2)
Pitch bend code	Channel # (1)	Most Sig. Bit (MSB)	Leas Sig. Bit (LSB)
1110	0001	0101 0000	0000 0000

Tablo 4. 0.5 değerinde bir tizleşme için örnek pitch bend mesajı.

Bu bilgi MIDI veri dizisi içinde şu şekilde yer alır: 224 (*pitch bend* mesajı) 80 (MSB) 0 (LSB). Ne kadarlık bir tizleşme/pesleşme yapılacağı bilgisinden sonra bu işlemin hangi notaya uygulanacağı ve nota süresi bilgileri gelir. Bunun için sırasıyla *Note-on* mesajı, MIDI nota değeri, ses şiddeti değeri (*velocity*), nota süresi değeri ve son olarak da *Note-off* mesajı yazılır. Nota süre değeri yukarıda belirtildiği gibi sabit tempo ve *ticks per quarter note* parametre değerleri kullanılarak MIDI verisine dönüştürülür.

Örnek notamızın 5 saniye icra edildiği düşünülürse bu değer MIDI verisi olarak karşılığı 2 baytlık 151 56 değerlerine karşılık gelir. Aşağıda örnek nota için yazılan bir MIDI verisinden otomatik olarak elde edilen açıklamalar gösterilmektedir. Görüldüğü gibi MIDI verisi tüm kontrol mesajları ve nota olaylarını seri olarak işlemektedir.

Süre	Komut	Parametre
0 0 0:0.000	Controller Change ctrl=BANK	SELECT value=0
0 0 0:0.000	Program Change	instr=75
0 0 0:0.000	Channel Key Pressure	vel=96
0 0 0:0.000	Pitch Bend	change=10240
0 0 0:0.000	Note on	nn=60 vel=70
0 456 0:0.500	Note off	nn=60 vel=70
-24 0:0.500 meta	End of Track	

Tablo 5. MIDI formatında tek bir GTSM perdesinin temsili.

Aşağıdaki tabloda ise örnek olarak ele alınan 60.5 MIDI nota numarasına sahip 5 saniyelik tek bir notanın buraya kadar açıklanan MIDI mesajları ile birlikte bir MIDI verisi olarak nasıl temsil edildiği gösterilmektedir.

MIDI message	Code
	77
	84
Start of MIDI data	114
	107
	0
	0
Track length	0
	34
File format	0
	176
	0
Control change	0
	0
Bank select	192
	75
Instrument	0
Channel pressure	208
	96
Pressure value	0
Pitch bend message	224
Pitch bend value (MSB)	80
Pitch bend value (LSB)	0
Note-On message	144
MIDI note number	60
Velocity	70
Note Duration (MSB)	151
Note Duration (LSB)	56
Note-Off message	128
MIDI note number	60
Velocity	70
	24
	255
End of MIDI data	47
	0

Tablo 6. 60.5 MIDI nota numarasına sahip 5 saniyelik bir notanın MIDI formatında gösterimi.

(Değişken olarak kullanılan mesajlar italik olarak işaretlenmiştir).

Sonuç olarak bir ses kaydından elde edilen MIDI matrisi her bir nota için burada açıklanan işlemler yapılarak MIDI verisine dönüştürülmüş ve bu sayede MIDI yazımı başarıyla gerçekleştirilmiştir. MIDI verisinin okunması ise varolan her hangi bir MIDI okuyucu programı yoluyla gerçekleştirilebilmektedir.

2.4 İcranın Nota İle Temsili

İcranın MIDI formatına dönüştürülmesi gerçekleştirildik-

ten sonra bu bilgilerin nota ile yazılması da mümkün hale gelmektedir. Bunun için MUS2 yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımın girdi olarak kabul ettiği format MIDI yazımında kullandığımız 53 Hk çözünürlükte nota isimleri ve nota süre değerleridir. Çalışmamız herhangi bir kuramın perde sistemini doğrudan temsil etmeyi amaçlamadığı için, bu tür bir gösterimin geleneksel perde isimleri ile sağlanması mümkün değildir. Bu nedenle Batı notalarına dayanan 53 Hk çözünürlükte bir gösterim kullanılmıştır.

Bu bölümün girişinde açıklandığı gibi elimizdeki veri, karar perdesi belli olan 53 Hk çözünürlükteki f0 verisi ve perde değer süreleridir. Bu f0 verisinin perde isimlerine dönüştürülmesi için 8 oktavlık bir perde isim tablosu kullanılmıştır. Perde isim tablosunda her nota arasında 1 Hk fark vardır: C1...C4#1 C4#2 C4#3 C4#4 C4#5 C4#6 C4#7 C4#8 D4.. C8. Her f0 verisinin karar notasına uzaklığı bu tablodan hesaplanarak ilgili f0 verisinin karşılık gelen perde ismi bulunur. Örneğin karar notası D4 (*yegah*) olarak bulunan bir parçada bir f0 verisi karar sesinden 4 Hk daha pesse, nota isim tablosunda karar notasından itibaren yukarı doğru 4 adım (4Hk) sonraki nota sesi, yani C4#5 bulunur.

Böylece verili bir parça gerekli işlemlerden geçtikten sonra nota ismi ve nota değer süresinden oluşan bir metin dosyasına çevrilir. Aşağıda örnek bir uşşak ney taksiminin ilk 11 notasının metin dosyasında nasıl temsil edildiği gösterilmektedir. Her bir nota ismini takip eden iki rakam nota değer süresini vermektedir. İlk nota örneğini ele alacak olursak önce nota ismi A4#6 daha sonra da ¼'lük nota değer süresini gösteren 1 ve 4 rakamları gelmektedir.

Perde ismi	Nota süre değeri	
A4#6	1	4
A4#6	1	16
B4#2	3	16
B4#3	1	1
B4#3	1	2
B4#3	3	16
B4#2	1	4
B4#2	1	16
B4	1	4
B4	1	16
A4#7	1	1

Tablo 7. Örnek uygulamadaki perde isimlerinin ve süre değerleri.

Sonuç olarak oluşturulan bu metin dosyası MUS2 programı ile açıldığında f0 verisinin notaya dökülmüş hali elde Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekilde sunulan nota dökümünün yukarıda verilen metin dosyası ile uyumlu olduğu görülmektedir.

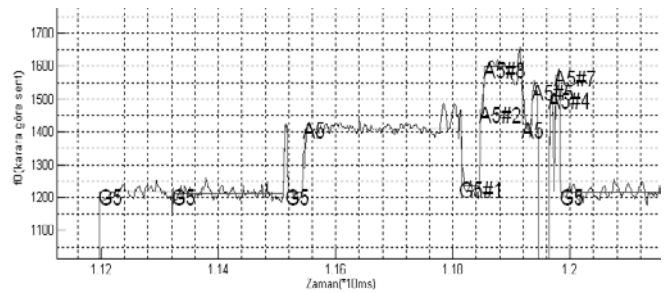


Şekil 1. Bir uşşak ney taksiminin MUS2 ile notaya dökülmüş hali.

Sonuçların test edilmesi için ölçülen f0 bilgisini, nicemlenen f0 bilgisi ve perde ismi Şekil 2'de sunulmuştur. Bu sayede MIDI yazımıyla ilgili tüm adımların sonuçları gözlenip özgün notayla karşılaştırılabilmektedir. Şekil 2 incelendiğinde notaya yazım işleminin perdeleri büyük oranda doğru bir şekilde bulmuş olduğunu görmekteyiz. Özellikle son kısımda (1.19-1.2x 10ms) icranın (özgün notada bulunmayan) tüm detayları notaya dökülmüştür. Varılan noktada nota yazma aracımız icrayı büyük bir hassasiyetle takip eden bir nota yazımı gerçekleştirmektedir.



a) Özgün nota,



b) Kayıttan otomatik olarak elde edilen f0, nicemlenmiş f0 ve nota isimleri.

Şekil 2. Otomatik notaya dökme örneği, neyle Rast makamında icra.

2.5 İki Örnek Uygulama

Şekil 3'te kalitesi düşük iki eski kayıt, Tanburi Cemil Bey'in *Hüseyini* makamındaki *Çeçen Kızı* ile aynı bestecinin *Ferahfeza* makamındaki *Saz Semaisi* icralarının hali hazırda

Sofyan

HÜSEYİNİ SAZ ESERİ
"Çeçen Kızı"

Tanburi Cemil Bey

♩ = 96

Reşat Onal

b) Kayıttan otomatik olarak elde edilen nota.

Şekil 3. Tanburi Cemil Bey'in Hüseyinî makamındaki çalgısal yapıtı Çeçen Kızı'nın özgün notası ve icradan yapılmış çeviriyazım sonrasındaki notasyonu.

varolan notalarıyla sistemimizin ses dosyalarından elde ettiği notaları karşılaştırmalı olarak sunuyoruz. Şekilde özgün nota üzerinde 1 ve 2 olarak işaretlenen nota kümeleri 1. ve 2. dolapta tekrarlanmaktadır. Otomatik olarak elde edilen nota üzerinde bunu ifade edebilmek için bu notalar sırasıyla 1. dolap için 1.1 ve 1.2 olarak 2. dolap için de 2.1 ve 2.2 olarak işaretlenmiştir.

Özgün notada ifade edilen 1 ve 2 numaralı nota kümelerinin otomatik olarak elde edilen nota kümelerinde aynı olması beklenmesine karşın aralarında farklılıklar olduğu görülmektedir. Tablo 8 ve 9'da otomatik nota ile özgün nota arasındaki farklılıklar (*italik*) gösterilmektedir.

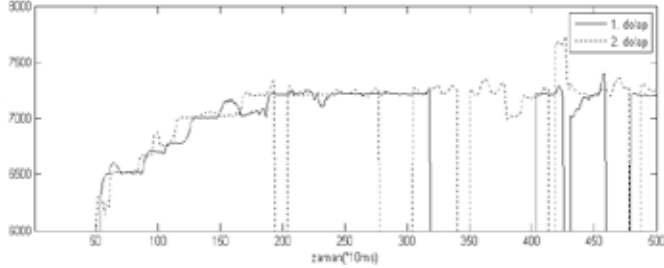
	1	2	3	4	5
1. dolap 1. küme	A4	<i>B4#1</i>	<i>D5</i>	<i>D5#1</i>	E5
özgün nota	A4	<i>B4b1</i>	<i>C5</i>	<i>D5</i>	E5
2. dolap 1. küme	A4	-	<i>D5#1</i>	E5	

Tablo 8. Çeçen Kızı eserinin 1. nota kümesi için özgün nota ile otomatik nota karşılaştırması.

	1	2	3	4	5
1. dolap 1. küme	E5	-	<i>D5#8</i>	-	-
özgün nota	E5	<i>D5</i>	<i>E5</i>	<i>A5</i>	E5
2. dolap 1. küme	<i>E5#1</i>	-	<i>D5#1</i>	E5	<i>E5#1</i>

Tablo 9. Çeçen Kızı eserinin 2. nota kümesi için özgün nota ile otomatik nota karşılaştırması.

Buna ek olarak, icradan ölçülen birinci ve ikinci dolap f0 değişimi de Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Çeçen Kızı eserinin nota yazımı için 1. ve 2. dolabın f0 eğrisi üzerinden karşılaştırmalı olarak gösterimi.

Tablo 8 ve 9, Şekil 4 ile birlikte incelendiğinde görüleceği gibi, icradaki varyasyonlar nota yazımında büyük zorluk oluşturmaktadır. Özgün perde ile nota adı açısından farklar çok büyük olmamasına rağmen perde gösterimi çok karmaşıklaşmaktadır. Yine perdelerin zamansal bölünmesi de oldukça karmaşıktır. Benzer bir örnek Şekil 5 ve Tablo 10'da sunulmuştur.

Aksak Semai  192
Yürük Semai **FERAHEFEZA SAZ SEMAİSİ** Tanburi Cemil Bey

1. HANE

a) Özgün nota

b) Kayıttan otomatik olarak elde edilen nota.

Şekil 5. Tanburi Cemil Bey'in Ferahfeza Saz Semaisi, 1. Hane.

	1	2	3	4	5	7	8
otomatik nota	F5#1	A5	G5#1	F5#1		E5#1	
özgün nota	F5	A5	G5	F5	E5	D5	E5

Tablo 10. Ferahfeza Saz Semaisi eserinin 1. nota kümesi için özgün nota ile otomatik nota karşılaştırması.

3. Tartışma ve Sonuç

Örneklerden görülebileceği gibi notaların 1 Holder koması hassasiyetle nicemlenmesi sonucu, varolan kuramlara dayanan notasyon sistemlerine göre çok fazla sayıda arıza işareti olduğu gözlenmiştir. Buna ek olarak süre nicemlemesinde de benzer bir hassasiyet vardır. f0 ölçümü sırasında hata yapılan küçük bölgelerin ayrı notalar (veya sus'lar) şeklinde ifade edilmesi ve icracının tartımda yaptığı küçük oynamalar sonucu notaların zamansal bölünmesinin problemlili olduğu gözlenmiştir.

Elbette, bu tür bir notasyonu sağlayan şey önerdiğimiz herhangi bir kuram değil tam aksine icradan yola çıkan yüksek çözünürlüklü bir görsel temsil biçimidir. Bu tür bir temsili sağlayan şey ise Türk müziği icracılarını MIDI formatında yazabilen projemiz olmuştur. Sonuç olarak bu çalışmada geliştirilen teknolojinin müzik araştırmacılığında, özellikle de tonal olmayan müzik kültürlerinin incelenmesinde daha ileri çalışmalarda kullanılması ve eğitim alanında müzisyenlerin kendi icracılarını gözlemleyebilmeleri ile Türk müziği üzerine yeni düşünsel ve estetik sonuçlar doğuracağı söylenebilir.

Notlar

- 1 Bu çalışmada örnek olarak GTSM icraları ele alındığı için sistemimiz makale boyunca GTSM üzerinden açıklanmaktadır.
- 2 53 Hk'nın GTSM icracılarını çeşitli kuramlar arasında en iyi temsil eden çözünürlük olduğu Bozkurt vd. (2009) tarafından yapılan hesaplamalı bir çalışmada gösterilmiştir.
- 3 *Temel İcra Mesajları: Channel and polyphonic aftertouch* (kanal ve çok sesli nota çalma sonrası) çalınan bir notanın *aftertouch* mesajı gönderilmesiyle vibrato ve wah-wah gibi farklı ses efektlerinin üretilmesini sağlar. *Channel aftertouch* mesajı çalınmakta olan tüm notaları etkilerken, *polyphonic aftertouch* mesajı sadece tek bir notayı etkiler. (Durmaz, 2000: 46)

Program değişimi mesajları: Bu mesajlar kullanılan MIDI çalgısının bağlı olduğu diğer çalgıları kontrol etmesi amacıyla kullanılır.

Kontrol değişimi mesajları: Çalgı bankasından belirli çalgıların tınısını

simüle eden çalgıların seçilmesini, geçki (modulation), ses şiddeti, ses parlaklığı gibi parametrelerin belirlenmesini sağlayan kontrol mesajlarıdır.

Sisteme özel mesajlar: Ana ses kontrolü, stereo ses dengesi, zaman işareti (*time signature*) gibi parametre değerlerinin kontrolünü sağlayan mesajlardır.

Kaynakça

- Akkoç, C. (2002). "Non-Deterministic Scales Used in Traditional Turkish Music", *Journal of New Music Research*, vol. 31, no. 4. pp. 285-293.
- Al-Tae, M. A., Al-Ghawanmeh, M. T., Al-Ghawanmeh, F.M. and Al-Own, B. O. A. (2009). "Analysis and Pattern Recognition of Woodwind Musical Tones Applied to Query-by-Playing", *Proceedings of the World Congress on Engineering 2009 Vol I WCE 2009*, July 1 - 3, 2009, London, U.K.
- Boehm, C. (2007). "The Discipline that Never was: Current Developments in Music Technology in Higher Education in Britain", *Journal of Music, Technology and Education*, 1 (1): 7-21.
- Bozkurt, B. (2008). "An Automatic Pitch Analysis Method for Turkish Maqam Music". *Journal of New Music Research*, 37(1): 1-13.
- Bozkurt, B., Yarman, O., Karaosmanoğlu, M. K. and Akkoç, C. (2009). "Weighing Diverse Theoretical Models on Turkish Maqam Music Against Pitch Measurements: A Comparison of Peaks Automatically Derived from Frequency Histograms with Proposed Scale Tones", *Journal of New Music Research*, 38 (1): 45-70.
- Durmaz, Serhad, (2000). *MIDI*. İzmir: Dokuz Eylül Yayınları.
- Gedik, A. C., Bozkurt, B. And Cirak, C. (2009). "A Study of Fret Positions of Tanbur Based on Automatic Estimates from Audio Recordings", *Proc. CIM09 (Conference on Interdisciplinary Musicology)*, 26-29 Oct., Paris.
http://cim09.lam.jussieu.fr/CIM09-fr/Actes_files/18A-GedikBozkurtCirak.pdf (05.11.2012)
- Gedik, A. C. and Bozkurt, B. (2009). "Evaluation of the Makam Scale Theory of Arel for Music Information Retrieval on Traditional Turkish Art Music", *Journal of New Music Research*, 38 (2): 103-116.
- _____ (2010). "Pitch Frequency Histogram Based Music Information Retrieval for Turkish Music", *Signal Processing*, 10:1049-1063.
- Gedik, A. C., Işıkhani, C., Alpkoçak, A., Özer, Y. (2005). "Automatic Classification of 10 Turkish Makams", *Istanbul Technical University, International Congress on Representation in Music & Musical Representation, Istanbul*.

- Gedik, A. C. (2012). *Automatic transcription of traditional Turkish art music recordings: A computational ethnomusicology approach*, PhD Thesis, İzmir: İzmir Institute of Technology, Graduate School of Engineering and Sciences.
- Kaçar, G. Y., (2005). "Geleneksel Türk Sanat Müziği'nde Süslemeler ve Nota Dışı İcralar", GÜ, *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 25(2): 215-228.
- Karaosmanoğlu, M. K., (2012). "A Turkish Makam Music Symbolic Database for Music Information Retrieval: Symbtr", *Proceedings of ISMIR*, 2012.
- Krishnaswamy, A. (2003). "On the Twelve Basic Intervals in South Indian Classical Music", *AES 115th Convention*, New York, USA, 10-13 October 2003, paper no: 5903.
- Marcus, S. (1993). "The Interface between Theory and Practice: Intonation in Arab Music", *Asian Music*, 24(2): 39-56.
- Signell, K. (2008). Karl Signell ile ITU'de düzenlenen Türk müziğinde kuram-icra sorunları ve çözümleri isimli uluslararası çağrılı sempozyumda yapılan görüşme, İstanbul: 8 Mart.
- Touma, H. H. (1996). *The Music of the Arabs*, trans. Laurie Schwartz. Portland, Oregon: Amadeus Press.
- Théberge, Paul (1997). *Any Sound You Can Imagine: Making Music/Consuming Technology*, Hanover, N.H.: Wesleyan University Press and the University Press of New England.
- Töre, Abdülkadir ve Ekrem Karadeniz (1965). *Türk musikisi nazariye ve esasları*, İstanbul: Türkiye İş Bankası Yayınları.
- Tura, Yalçın (1988). *Türk Musikisinin Meseleleri*. İstanbul: Pan Yayıncılık.
- Tzanetakis, G., Kapur, A., Schloss, W.A. and Wright, M. (2007). "Computational Ethnomusicology". *Journal of Interdisciplinary Music Studies*, 1(2): 1-24.
- Yarman, O. (2008). *79-Tone Tuning & Theory for Turkish Maqam Music*. PhD Thesis, İstanbul Technical University, Social Sciences Inst., İstanbul.
- ____ (2010). *Nazariyat ve Teknik Boyutlarıyla Ses Dünyamızda Yeni Ufuklar*. İstanbul: Artes Yayınları. pp.64-99.
- Yavuzoğlu, N. (2008). *21. Yüzyılda Türk Müziği Teorisi*, İstanbul: Pan Yayıncılık.