

## A NEW TECHNOLOGICAL FORMATION OF MUSIC: SEARCHING THE MUSIC OR FINDING THE SEARCHED MUSIC

*Both for amateurs and professionals, music processing on computers is, generally, due to composition, arranging, listening music and recording. Although computer technologies urge the limits of multimedia, including common properties, conjunction of computer and music cannot be extended further. However, conspicuous advances on internet technologies lead to a new musical formation: Music Information Retrieval (MIR). MSS studies on internet are increased drastically; even do not surprise if you encounter music search rooms in shopping stores in the recent future.*

*Because of this, in this paper, you will find the evolution of MSS which is a new formation to find out searched music and its principles which simplify usability with examples of some important projects.*

**Anahtar Kelimeler:** Müzik Sorgulama Sistemi, İnternet, Müzik Teknolojisi  
**Key Words:** Music Information Retrieval, İnternet, Music Technology

## GİRİŞ

Müziği aramak ya da aranılan müziğe ulaşmak... İlk bakışta aslında kolay gibi görünen, hele hele günümüz teknolojiyle çocuk oyuncuğu olarak algılanabilecek bu eylem aslında temelinde oldukça karmaşık bir sistemi barındıran günümüzün ve geleceğin yeni teknolojik müzik oluşumu. Örneğin sabah kahvaltısında aklımıza takılan bir ezginin hangi parçaya ait olduğunu, hangi albümde yer aldığını, kim tarafından yaratıldığını, kısacası bu müziğin tüm içeriğiyle ne olduğunu bulabilmek için hizmet vermeye çalışan bu yeni teknolojik oluşum, bir taraftan popüler anlamda merak giderirken diğer taraftan bestecilerin yeni yaratacakları müziğin daha önceden yapıp yapılmadığını sorgulamak ya da müzik endüstrisinde müşteriye ezgisini unlatarak aradığı albümü hemen sunmak gibi birçok kolaylığı beraberinde getirmekte. Şimdilik henüz emekleme aşamasında olan bu teknolojik yenilik, bugün için internet üzerinden kullanıcılarına sağladığı deneme veritabanı ve yazılımlarıyla ilerisi için çok ciddi anlamda popüler olmaya aday gibi görünüyor.

Birçok tarih kitabında, 1960'lı yılların başlarında Bob Taylor'un Amerikan Savunma Bakanlığı'nda ARPANET (Advanced Research Project Agency) proje yöneticisi olarak çalışırken: günümüz internet teknolojisinin gelebileceği noktayı tahmin edebildiği yazmakta<sup>1</sup>.

İnternet ağının ilk yaratıcısı sayılan Taylor, özellikle

bilgi paylaşımı açısından öne sürdüğü bu ileri görüşünün o yıllarda yapılmış doğru bir saptama olduğu gün gibi ortada. Çünkü paylaşım açılan her bilgi, interneti evrensel bir *sayısal kütüphaneye* haline getirdi. Günümüzde bu sayısal kütüphane öyle boyutlara ulaştı ki, paylaşılan bilgiyi arayıp bulabilme ve sistematik bir şekilde kullanıcıya sunabilme konusu bile kendi başına bir çalışma haline geldi. Hızla gelişen bu alanda, bugün internette kullandığımız Google, Yahoo!, Altavista gibi pek çok *arama motoru*, istenilen bilgiyi internette arayarak en kısa sürede ve doğru tespitlerle kullanıcıya ulaştırmayı hedefliyor. Kullanıcı aradığı bilgiyi en iyi temsil ettiğini düşündüğü sorguyu (anahtar kelimeyi) giriyor ve verilen sorguya en yakın olduğu düşünülen sayfalar ve bağlantıları internetteki milyonlarca sayfa içerisinde arayıp bulunarak, kullanıcıya sunuluyor.

Mevcut arama motorları, genellikle salt metinlerden oluştuğu düşünülen sayısal bir kütüphaneden aradığımızı en kısa zamanda erişmemize yardımcı olan; günümüz internet kullanıcılarının olmazsa olmaz araçlarındandır. Günümüzde, çokluortam verilerinin bilgi dünyasını çepeçevre sarmasıyla, istenilen bilgiye ulaşmada yaygın olarak kullanılan metin tabanlı (text based) arama yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Çünkü internet sayfalarında salt metin bilgisinin yanında resim, video, müzik vb. biçimler de bulunur. Bu durumda, metin tabanlı arama teknikleri yetersiz kalır ve çokluortam biçimlerine özel arama tekniklerinin kullanılması zorunlu hale gelir. Terminolojide genel olarak *Çokluortam Sorgulama Sistemleri (Multimedia*

\*Öğr. Gör. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi-Güze' Sanatlar Fakültesi Müzik Bilimleri Bölümü-İZMİR  
1 Katie H. Lyon M., [Çev: S. Yazıcıoğlu], *İnternet Tarihi*, Güneç Yayıncılık, İstanbul, 2000, s.43.

*Information Retrieval*) olarak bilinen bu çalışma alanında arama işlemi, çoklu ortam verilerine ilâştirilmiş dâşsal özellikler yerine, aranılacak bilginin doğrudan içeriğinin dikkate alınması temel ilkesine dayanır ve *İçerik Tabanlı Erişim* (ITE, Content-Based Information Retrieval) olarak adlandırılır. Bu sistemlerde sorgu, metin olarak değil, doğrudan çokluortam verisinin özgün formunda verilir. Bir başka ifadeyle, aranan çokluortam verisinin formu ne ise sorgunun formu da o olur: Resimse resim veya müzikse müzik.

Müzik de bir çokluortam formu olduğuna göre, müzik aramaya yönelik sorgulama sistemlerine genel olarak Müzik Sorgulama Sistemleri (MSS, Music Information Retrieval) adı verilir. Genel olarak bir MSS, kullanıcının sorgusunu doğrudan müzik olarak bilgisayara girdiği ve sorguya benzer melodiyi içeren müzik dosyalarını bannıduran internet sayfalarının adreslerinin en benzerden en az benzeyene doğru sıralı olarak sunulduğu karmaşık sistemlerdir.

MSS çalışmalarının temelleri tarihsel süreçte 1960'lı yılların başına uzanır. Lincoln, müziksel verilerin bilgisayarlarca dizinlenerek gerektiğinde kullanıcıya geri döndürülmesi ilkesini 1967 yılında 3 maddeyle özetler<sup>2</sup>.

1. Müzik verilerinin sayısal olarak depolanması: İnternet
2. Bu verilere ulaşmak için etkili bir giriş: Sorgu Oluşturma
3. Veritabanı ve sorgulama: Veritabanı Zenginleştirme ve Sorgu İşleme

*MSS üzerine yapılan çalışmalar, özellikle son on yıllık dönemde gerek bilgisayar ağı teknolojilerindeki gelişmeler ve gerekse sayısal teknolojilerinin ucuzlayarak yaygınlaşmasıyla birlikte çok büyük bir artış gösterir. Diğer taraftan bu yazının da konusu olan internet üzerinden kullanılabilen MSS uygulamaları kullanıcıları ile yavaş-yavaş tanışmaya başlamıştır. Ancak teknoloji ne kadar ilerlese de MSS çalışmaları alanında bilgisayar bilimlerinin mevcut durumu benüz metin tabanlı arama uygulamaları kadar ilerleyebilmiş değildir.*

### **MSS: TEMEL Çalışma Prensipleri**

MSS'yi genel olarak kullanıcı, arama motoru ve internet olmak üzere üç katmanlı bir yapı olarak düşünmekte yarar vardır. MSS temel çalışma prensipleri ve üç katmanın ilişkileri Şekil-1'de gösterilmiştir.

*Kullanıcı*, internete bağlı milyonlarca kullanıcıdan birisidir ve internet gezgin programı ve gerekli diğer yazılım eklentilerine sahiptir. Kullanıcı internet gezginini kullanarak aradığı müzik eserine ait sorguyu verir. Mikrofon aracılığıyla aranan müzik eserinin melodisi mırıldanılarak, ısıklıla çalınarak veya şarkı söylenerek sorgu hazırlanır. Alternatif olarak, aranan müzik eserinin dosyası da sorgu olarak doğrudan verilebilir.

*İnternet*, müzik verilerin saklandığı bir veritabanı ve kullanıcı ile arama motorları arasındaki iletişimi sağlamak üzere iki temel işleve sahiptir. Daha önce de değindiğimiz gibi, günümüzde internet çeşitli kullanıcıların sayısal ortamdaki çokluortam verilerini paylaşımıyla dev bir sayısal kütüphane oluşturur. İnternet sayfalarındaki veriler herhangi çokluortam formunda olabilir. Bu yazıdaki konu müzik verileri olduğuna göre, interneti değişik kullanıcıların paylaşımına açtıkları büyük bir sayısal müzik dosyası içeren arşiv olarak görmek yanlış olmayacaktır. Bu nedenle internet MP3, MIDI, WAV veya başka bir formata sahip müzik verilerini içeren büyük bir sayısal kütüphanedir.

*Arama Motoru*, MSS'nin en önemli bileşenidir ve genel olarak iki temel işleve sahiptir: *Veritabanı zenginleştirme ve sorgu işleme*.

Veri tabanı zenginleştirme aşaması, belirli aralıklarla internetteki sayfaları otomatik olarak ziyaret ederek, var olan müzik verilerini/dosyalarını arayıp bulan ve *web robotu* adı verilen bir bölüme sahiptir. Bulunup getirilen her müzik verisinden öncelikle, ilgili arama motorunun yapısına bağlı olmak üzere, melodiyi en iyi şekilde temsil edebilecek ve aynı zamanda da bilgisayarda en iyi şekilde işlenebilecek biçime dönüştürür. Bu biçime kısaca *imza* (signature) denir. Bu imzanın en önemli özelliği, hem müziği en iyi şekilde temsil etmesi hem de bilgisayarda etkin bir şekilde işlenebilecek biçimde olmasıdır. Müzik verisinin imza haline dönüştürülmesinde birçok karmaşık yöntem kullanılmaktadır. Ancak, basit ve daha kolay anlaşılır olmasından dolayı internetteki MSS uygulamalarının çoğu müzik verilerini *Parson Kodlama*'yla temsil ederler. Bu kodlama tekniği, müzik verisindeki notanın kendisinden bir önceki notaya göre kodlanması temel ilkesine dayanır. Eğer bir notanın ses yüksekliği kendisinden bir önceki notayla aynıysa R (repeat), bir önceki notadan düşükse D (down) veya yüksekse U (up) ile kodlanır. Kodlamada nota değerlikleri dikkate alınmaz. Örneğin sırasıyla do-do-sol-sol-la-la-sol olarak bilgisayara aktarılan müzik verisi, imza aşamasında \*RURURD şeklinde kodlanacaktır (\* İlk notayı temsil etmektedir). Bu kodlama tekniğiyle bütün müzik verileri, veritabanında R, U ve D sembollerinden oluşan bir

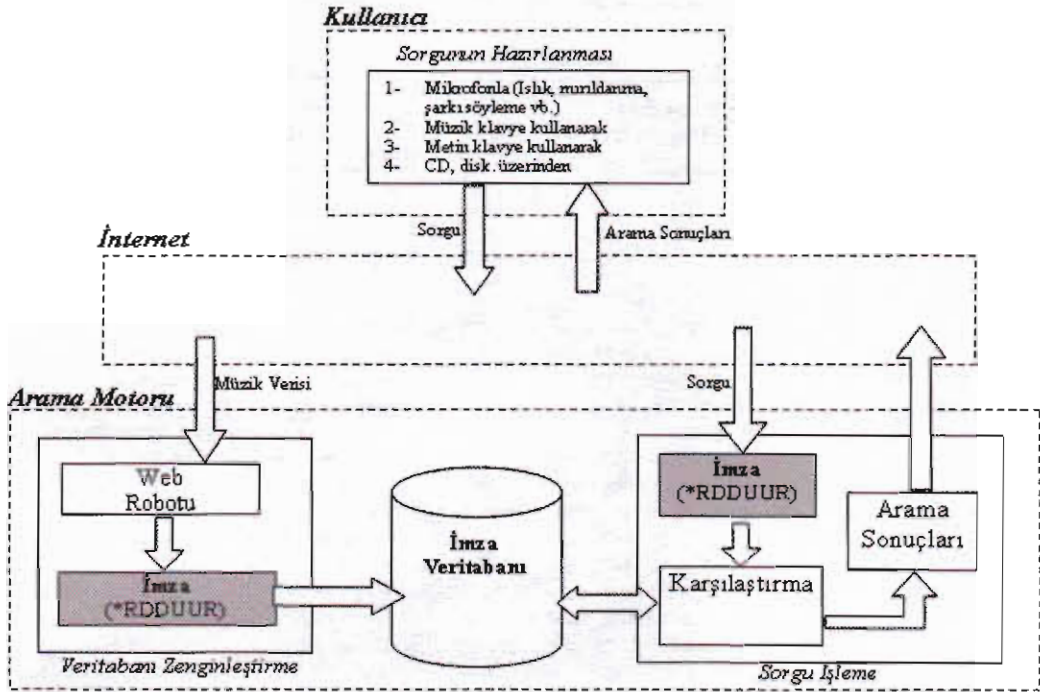
2 Lincoln H. B., Some Criteria and Techniques for Developing Computerize Thematic Indices, *Electronische Datenverarbeitung in der Musikwissenschaft* Regensburg, 1967. s. 143.

*imza* ile temsil edilir ve bu imzalar arama motorunun veritabanında sorgu işleme süreçlerinde kullanılmak üzere saklanır<sup>3</sup> Burası oldukça önemli, çünkü sanıldığına aksine müzik verisinin aslı veritabanında saklanmaz, bunun yerine bu verinin daha kolay işlenebilir bir formatı olan *imza* saklanır ve arama sürecinde kullanılır.

Arama Motoru'nun ikinci işlevi olan sorgu işleme aşamasıyla, kullanıcıdan gelen müzik sorgusunun veya bir diğer deyişle imzanın, arama motoru veritabanındaki imzalarla karşılaştırılarak, sonuçlarının en benzerden en az benzeyene doğru sıralanıp kullanıcıya gönderilmesini içerir. Tahmin edileceği gibi bu sürecin son derece hızlı olması gerekmektedir ve bu amaçla değişik dizinleme teknikleri kullanılır.

Şu ana kadar teknik açıdan ele aldığımız çalışma sistemine müziksel açıdan bakacak olursak, MSS'nin müzik arama yöntemini Şekil 2'yle özetleyebiliriz.

Şekil 2'de MSS'nin müziği iki farklı biçimde ele aldığı görülüyor. İlki, sembolik verilerden oluşmuş müzik dosyaları. Bunlara en iyi örnek MIDI dosyaları verilebilir. Burada müziğe ait her öğe sembolleştirilir. Bunu partitürlere benzetebiliriz. Gerçek hayatta müzik öğeleri partitürlere yazılarak bir tür sembolleştirme yapılır. İşte bunun gibi MSS'de de özel partitürler kullanılabilir. Bunlara *sembolik verilerle araştırma* diyoruz. Diğer yöntem doğrudan ses dosyası üzerinde işlem yapmaktır. Bu yöntem diğerine göre daha karmaşıktır çünkü bilgisayar için artık semboller ortadan kalkmış; yerine analiz edilmesi gereken ses sinyali gelmiştir. Bazı çalışmalarda da ses sinyallerinin sembolik verilere



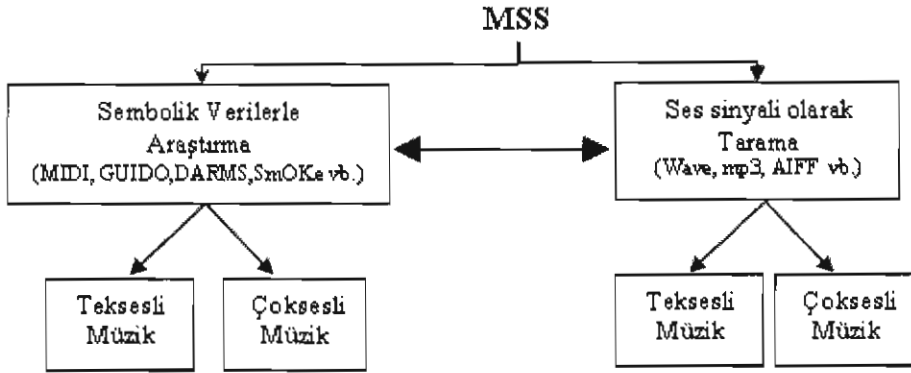
Şekil 1: MSS Temel Çalışma Prensipleri

3 Ghias A., Logan J., Chamberlin D., and Smith B. C., Query by Humming - Musical Information Retrieval in an Audio Database, In ACM Multimedia 95, 1995.s.4.

çevrimi söz konusudur. Diğer taraftan, sembolik verilerin de ses sinyallerine çevrimi üzerine yapılan bazı kuramsal çalışmalar olmakla birlikte, bu yöntem günümüzde karmaşık yapısı nedeniyle pek tercih edilmiyor.

Müzik ister sembolik olsun ister doğal, MSS için yöntemi etkileyen en önemli noktalardan biri tekselelik ya da çokseleliliktir. Bu nedenle her iki durumda da (sembolik veya sinyal) müziğin tekseleli olarak mı sisteme alınacağı yoksa çokseleliliğin mi tercih edileceği MSS için önemli bir konu.

Müziğin hangi öğelerinin MSS için bilgisayarca birer imza olabileceğine gelince: Burada özetle söyleyecek olursak, ne kadar karmaşık olursa olsun hemen hemen her şey. Başta nota değerlikleri olmak üzere nüans, tempo, akor, tını, söz, vb. tüm müzik öğeleri imzayı oluşturabilir<sup>4</sup>. Günümüzdeki en yaygın kullanımıyla nota değerleri MIDI verilerince sembolik olarak tanımlanırken perde (pitch), aralık(interval) ya da nota süresi (duration) gibi müziksel öğelerden yaygın olarak yararlanılır<sup>5</sup>.



Şekil 2: MSS'de müzik arama yöntemi

Müziksel açıdan çok daha fazla detayları olan MSS çalışma sistemine özet olması için genel bakacak olursak tek bir sonuçla karşılaşırız: Metin tabanlı çalışmaların inanılmaz hızlara ulaştığı günümüz bilgisayar teknolojisinde, müzik gibi çokluortam öğelerinin bilgisayarca tanımlanabilmesi oldukça zorlu uğraşlar gerektiriyor. Ancak tüm bu zorlukları ve bilinmeyenleri bir tarafa bırakıp, şu ana kadar yapılanlar üzerine konuşacak olursak; müziğin bilgisayarca tanımlanabilmesi ve MSS için kullanılabilmesi için 3 temel işleve açıklık getirilmesi gerekiyor: Müziğin tekseleli ya da çokseleli mi olduğu; sembolik mi yoksa doğrudan ses verisi olarak mı ele alındığı ve müziğin hangi öğelerinin birer veri olarak bilgisayara tanıtıldığı.

### Önemli MSS Projeleri

Özellikle son 10 yılda MSS üzerine yapılan çalışmalar oldukça çoğaldı. İnternet teknolojisinin hızla ilerlemesi, müzik dosyaları paylaşımının hızlanması ve aranılan bilgiye

ulaşmanın daha sistematik hale getirilme çabaları MSS çalışmalarının artmasını sağlayan en önemli faktörler arasında<sup>6</sup>. Bu çalışmaların birçoğu kuramsal boyutta kalsa da azımsanmayacak sayıda pek çok çalışma MSS'yi berkes tarafından kullanılabilir uygulama ortamına taşıyacaktır. Bu bağlamda bugün, doğrudan internete kullanılabilen deneysel amaçlı birkaç proje ve uygulama mevcuttur. Bunlardan bir tanesi, 1997 yılında Karlsruhe Üniversitesi'nde Ryner Typke tarafından geliştirilen ve 'Tuneserver' olarak da anılan 'MelodyHound'<sup>7</sup>dur. Bu sorgulamada müzik, kullanıcının bilgisayara gireceği ıslık ile veritabanında aranır.

Şekil 3'de, MelodyHound'un çalışmasını gösteren ve en genel anlamda MSS'nin çalışma prensibini kısaca özetleyen diyagram gösterilmiştir. Kullanıcının basit bir mikrofona bilgisayara aktardığı ıslık sesi (1), önce elektrik sinyallerine dönüştürülür (2). Daha sonra bilgisayar, bu sinyalin (3) nota ve sürelerini bularak (4) onları Parsons adı verilen özel kodlara çevirir ve imza oluşturulmuş olur (5).

4 Downie, J. Stephen, *Evaluating A Simple Approach to Music Information Retrieval: Conceiving Melodic N- Grams As Text*. PhD. Thesis, Faculty of Graduate Studies, Western Ontario University, London, 1999.s.123

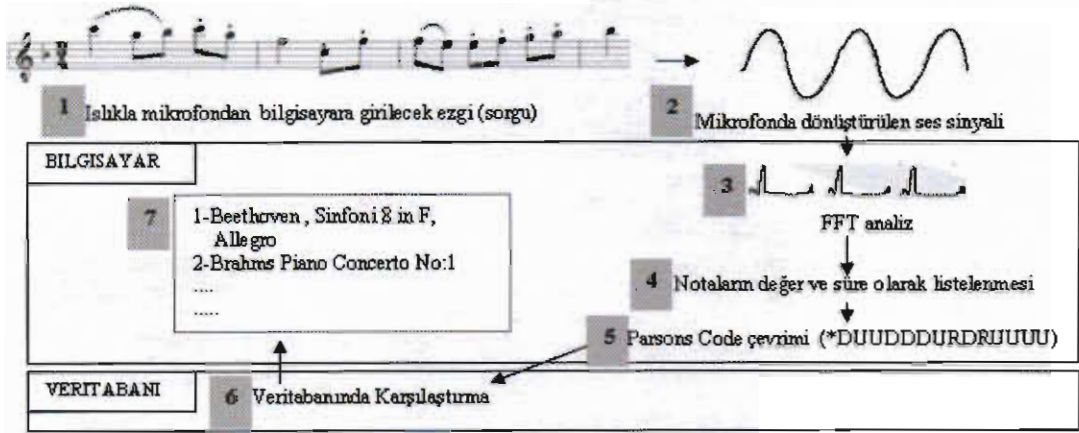
5 Lemstrom, K., Laine P., Perttu S., Using Relative Interval Slope in Music Information Retrieval. *The Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC)*, pages 317-320, Beijing, China, October 1999.s.5

6 McDonagh J., Smeaton Alan P., Multimedia Information Retrieval: MIDI as a format for Content Based Retrieval of Audio. *School of Computer Applications Working Paper*, 2001.s.3.

7 <http://www.musipedia.com>

İnternet aracılığıyla veritabanına ulaşan kodlar, burada tüm müziklerle karşılaştırılır (6) ve sorgusunun içinde bulunduğu müzikler benzerlik sırasına göre kullanıcının bilgisayar ekranına gönderilir(7).

MelodyHound'un diğer uygulamalarda da göreceğimiz en büyük dezavantajı, kullanıcının aradığı müzik türünü daha en başta seçtirmesidir. Dolayısıyla ortalama bir kullanıcı için değilse bile, müzikle daha alt seviyelerde ilgilenen kullanıcılar aradığı müziğin türünü eğer bilmezlerse, arama süresi oldukça uzayabilir.



Şekil 3: MelodyHound çalışma sistemi akış diyagramı.

1998 yılında çalışmaları Kornstädt tarafından başlatılan bir diğer proje 'ThemeFinder' dir<sup>8</sup>. Bu proje, 2000 yılında David Huron tarafından internete uygulamaya konuldu. ThemeFinder, yapısında tamamen sembolik verileri kullanarak kullanıcıya hizmet veren bir uygulamadır. *Humdrum* adı verilen bir arayüz kullanılarak *kern* adlı özel bir kodlama girdisiyle çalışmaktadır. Bu nedenle uygulamayı kullanabilmek için 'kullanım klavuzu'nu okumak gerekecek!. Veritabanı, klasik müzik ve bazı Avrupa ülkelerinin yerel halk şarkılarıyla sınırlıdır. Siteye girildiğinde aramak için kullanıcıyı bekleyen çeşitli müziksel öğeler vardır. Örneğin kullanıcı aradığı müziğin sorgusal notalarını biliyorsa, bunları girmek için uygulamanın sağ tarafındaki açıklamaları okumak durumundadır.

MelDex adıyla bir diğer proje, Yeni Zelanda Digital Kütüphane Projesi kapsamında Bainbridge tarafından 1997 yılında geliştirildi<sup>9</sup>. Temel çalışma prensibi teknik bir takım detaylar dışında MelodyHound'la benzerlik gösterir. Sorguyu mikrofondan alarak bunları Parsons kodlara çevirir ve arama yapar. Sitede sorguyu iki biçimde girmeniz gerekecektir: Ezgi ya da metin. Metin girişi şarkı adlarına ya da sözlerine göre düzenlenmiştir ve metin tabanlı arama yöntemlerini kullanır. Ezgi girişi için bilgisayarınıza bağlı bir mikrofona

mırlanarak, ışıkla ya da şarkıyı söyleyerek sorguyu oluşturabilirsiniz. Arama sonuçları yine en benzerden en az benzere sıralı biçimde ekrana gelecektir. Kullanım yöntemi ve diğer teknik ayrıntıları da siteden bulabilmek mümkündür.

## SONUÇ

Müziği aramak ya da aranan müziği bulmak için yeni bir oluşum olan MSS en az iki bileşenin karşı karşıya getirilmesi üzerine kurulmuştur: Sorgu ve Veritabanı. Aranan müziğin veritabanına iletilmesi için kullanılan araçsa ses bilgisi ya da bu bilgiyi taşıyan sembolik verilerdir. Sorgudan gelen bu veriler doğrudan ya da dolaylı olarak veritabanında karşılanır ve çeşitli hesaplama teknikleriyle ortaya çıkan sonuçlar kullanıcıya iletilir. Bu aşamaların ayrıntılarına girildiğinde ortaya çeşitli müziksel güçlükler çıkacaktır. Zamana göre sürekli değişen ses bilgileri, birden fazla bileşenden meydana gelen müziksel ifade ya da çokseslilik/tekseslilik bu güçlükleri özetleyen en çarpıcı örnekler. Buna rağmen MSS uygulamaları günümüzde giderek artıyor.

MSS çalışmalarının ve buna bağlı olarak uygulamadaki kullanımının yaygınlaşması, ticari amaçla

8 <http://www.themefinder.org/>

9 <http://www.nzdl.org/fast-cgi-bin/music/musiclibrary/>

kullanıcıya hizmet veren sektörleri de gelecekte etkileyecektir. Örneğin bir yerlerden işittiğiniz veya aklınıza takılan bir melodinin hangi parçaya ait olduğunu öğrenmek ileride MSS sayesinde hiç sorun olmayacak. Müzik markete gireceksiniz ve köşede duran bir kulübe girip; oradaki bilgisayara aklınıza takılan melodiyi kaydederek sonuçları bekleyeceksiniz. Diğer taraftan bir besteci için yaratacağı müzikteki bir temanın daha önce kullanılıp kullanılmadığı, kısacası *teelif hakları* sıkıntısının da besteci açısından MSS'yle kontrol altına alınabilir. Aynı besteci aklındaki ezgiyi bilgisayara aktaracak ve bu ezginin daha önce kullanılıp kullanılmadığını ya da diğer bazı parçalara ne kadar benzeyip benzemediğini görebilecektir. Diğer taraftan ulusal ya da uluslararası büyük müzik şirketlerinin de MSS'nin bir pazar olacağı bekleniyor. Bu şirketlerin kendi bünyelerinde geliştirecekleri MSS amaçlı veritabanları, kullanıcılarına daha iyi hizmet sunabilmek için detay müzik arama işlerini kolaylaştıracak bir uygulama alanı gibi görünüyor.

#### KAYNAKÇA

- Bainbridge D., **MELDEX: A Web-Based Melodic Locator Service**, *Computing in Musicology 11*, 1998
- Downie, J. Stephen, **Evaluating A Simple Approach to Music Information Retrieval: Conceiving Melodic N-Grams As Text**, PhD. Thesis, Faculty of Graduate Studies, Western Ontario University, London, 1999
- Foot J.T., **Content-Based Retrieval of Music and Audio**, *Multimedia Storage and Archiving Systems II*, Dallas, Texas: SPIE, 1997.
- Gbias A., Logan J., Chamberlin D., and Smith B. C., **Query by Humming - Musical Information Retrieval in an Audio Database**, *In ACM Multimedia 95*, 1995.
- Katie H., Lyon M., [Çev: S. Yazıcıoğlu], **İnternet Tarihi**, Güncel Yayıncılık, İstanbul, 2000.
- Kornstädt, A., **Themefinder: A Web-Based Melodic Search Tool**, *Computing in Musicology- 11*, 1998
- Lemstrom K., Laine P., Perttu S., **Using Relative Interval Slope in Music Information Retrieval**, *The Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC)*, pages 317-320, Beijing, China, October 1999.
- Lincoln H. B., **Some Criteria and Techniques for Developing Computerize Thematic Indices**, *Elektronische Datenverarbeitung in der Musikwissenschaft*, Regensburg, 1967.
- McDonagh J., Smeaton Alan F., **Multimedia Information Retrieval: MIDI as a format for Content Based Retrieval of Audio**, *School of Computer Applications Working Paper*, 2001.
- R. Typke, L. Prechelt, **An Interface for Melody Input**, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction 8(2)*, 2001.
- Wild J., **A Review of the Humdrum Toolkit: UNIX Tools for Musical Research**, *Music Theory Online*, 1996.