

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TIBBİ GÖRÜNTÜLERDE İÇERİK TABANLI GÖRÜNTÜ
ERİŞİMİ İÇİN ÖZELLİK ÇIKARIM YÖNTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet BAYKARA

(06229101)

Anabilim Dalı: Bilgisayar Mühendisliği

Programı: Kuramsal Temeller

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr Burhan ERGEN

EKİM-2009

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TIBBİ GÖRÜNTÜLERDE İÇERİK TABANLI GÖRÜNTÜ
ERİŞİMİ İÇİN ÖZELLİK ÇIKARIM YÖNTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet BAYKARA

(06229101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 12 Ekim 2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 27 Ekim 2009

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr Burhan ERGEN(F.Ü)

Diğer Juri Üyeleri: Doç. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU(F.Ü)

Yrd. Doç. Dr Ahmet ÇINAR(F.Ü)

EKİM- 2009

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitiminin başladığı günden beri ve bu tez çalışmam süresince değerli fikirlerini benimle paylaşan, yardımlarını esirgemeyen danışman hocam, Fırat Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr Burhan ERGEN'e, biyomedikal görüntü veritabanının oluşturulmasında yardımcı olan Elazığ Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nden Sayın Dr. Hakan ARTAŞ'a, teşekkürlerimi sunarım.

Muhammet BAYKARA

ELAZIĞ - 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. İÇERİK TABANLI GÖRÜNTÜ ERİŞİM SİSTEMLERİ	3
2.1. Giriş	3
2.2. İÇERİK TABANLI GÖRÜNTÜ ERİŞİM SİSTEMLERİNİN MİMARİSİ	10
2.3. İÇERİK TABANLI ERİŞİM SİSTEMLERİNİN PRATİK UYGULAMALARI.....	13
2.3.1. QBIC.....	15
2.3.2. Virage	16
2.3.3. Excalibur.....	17
2.4. İÇERİK TABANLI GÖRÜNTÜ ERİŞİM SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	17
3. ÇOKLU ORTAM DİZİNLEME YÖNTEMLERİ.....	19
3.1. Giriş	19
3.2. ÇOKLU ORTAM GÖSTERİM ŞEKİLLERİ	19
3.3. GÖRSEL NESNELERİN ÖZELLİKLERİ	19
3.3.1. Renk Öznitelikleri	21
3.3.2. Şekil Özellikleri.....	24
3.3.3. Konumsal Özellikler.....	25
3.3.4. Doku Özellikleri.....	27
4. DOKU VE DOKU ANALİZİ.....	29
4.1. Giriş	29
4.2. DOKUNUN TANIMLARI.....	29
4.3. DOKUNUN SINIFLANDIRILMASI	31
5. İSTATİSTİKSEL DOKU ANALİZİ	37
5.1. Giriş	37
5.2. HİSTOGRAM İSTATİSTİKLERİ	38
5.3. ÖZİLİNTİ	42
5.4. GRİ SEVİYE EŞ OLUŞUM MATRİSLERİ VE ÖZNİTELİKLERİ.....	43
5.5. GRİ SEVİYE DİZİ UZUNLUK MATRİSLERİ.....	49
5.6. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ.....	52
5.7. DALGACIK PAKET AYRIŞIMI	56
5.8. GABOR YÖNTEMİ	57
5.8.1. Gabor Enerji Filtreleri	61
5.8.2. Konumsal (2D) Gabor Filtresi	62
5.8.3. Karmaşık Sinüsoid Taşıyıcısı.....	62

5.8.4. Gaussian Zarfı	64
6. BAŞARIM VE DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ	66
6.1. Giriş	66
6.2. BENZERLİK İÇİN KULLANILAN METRİKLER	66
6.2.1. Öklit Mesafesi	66
6.2.2. Minkowski Mesafesi	67
6.2.3. Manhattan Mesafesi(City Block)	68
7. UYGULAMA VE SONUÇLAR.....	69
7.1. Giriş	69
7.2. VERİTABANININ OLUŞTURULMASI	69
7.3. TASARLANAN SİSTEM VE MATERYAL.....	71
7.4. GRİ SEVİYE EŞ OLUŞUM MATRİSİ UYGULAMASI	73
7.5. GRİ SEVİYE DİZİ UZUNLUĞU MATRİSİ UYGULAMASI.....	77
7.6. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMASI.....	81
7.7. GABOR DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMASI.....	87
7.8. YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	89
8. SONUÇ	91
KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	98

ÖZET

Bilişim dünyasında gün geçtikçe değeri artan görsel bilginin saklanması ve gerektiğinde bu bilgilere tekrar erişilmesi önem kazanmıştır. Kişisel ve kurumsal olarak, artan görsel veritabanı ihtiyacı düşünüldüğünde, büyük boyutlardaki görüntü veri tabanlarında aranılan bilgiye erişilmesi önemli bir problemidir. İçerik tabanlı görüntü erişim sistemi, materyalin muhtevası üzerinden çeşitli hesaplamalar ile sorgulama yapma temeline dayanır. Burada amaç, görsel materyallerin renk, şekil, doku gibi temel özellikleri kullanılarak geri erişimin sağlanabilmesidir.

Bu tez çalışmasında içerik tabanlı görüntü erişim sistemleri incelenmiş ve tıbbi uygulamalarda kullanılmak üzere, oluşturulan biyomedikal imge veri tabanı üzerinde istatistiksel doku analizi yapılmıştır. Yapılan uygulamalar, tıbbi bir içerik tabanlı erişim sisteminin altyapısı niteliğindedir. Literatürde çeşitli hazır veri tabanları üzerinde bazı yöntemlerle içerik tabanlı erişim uygulamaları mevcuttur. Ancak bu tez çalışmasında biyomedikal görüntüler üzerinde istatistiksel yöntemlerle dokusal özniteliklerin hesaplanması ve bu yöntemlerin performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü Erişimi, İmge Madenciliği, İçerik Tabanlı Görüntü Erişimi, Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi, Gri Seviye Dizi Uzunluğu Matrisi, Dalgacık Dönüşümü, Çoklu Ortam Uygulamaları, Doku Analizi.

SUMMARY

Feature Extraction Methods Using Biomedical Images For Content Based Image Retrieval

In informatics world, storing the visual information and visual information retrieval when it is required have been gaining an increasing importance day by day. when the increasing need of visual database both personally and institutionally is taken into consideration, it has become a significant problem to retrieve images from a big image database. A content based image retrieval system is based on the basis of querying by computation upon the content of the image. Here, the aim is to enable the retrieval of the image by using its basic features such as color, shape and texture.

In this thesis, Content Based Image Retrieval systems have been thoroughly studied and statistical texture analysis has been made on the biomedical image database built in order to use in medical applications. These applications are in the form of background of a medical content based retrieval system. In literature, there are some content based retrieval applications on various databases. Moreover there has been some information given about Content Based Image Retrieval System such as QBIC, in literature. However, the aim of this thesis is to compute the textural features on biomedical image by statistical methods and to evaluate the performances of these methods.

Key Words: Image Retrieval, Content Based Image Retrieval, Image mining, Multimedia Systems, GLCM, GLRLM, Wavelet, Gabor, Texture Analysis.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

ŞEKİL 2.1. METİN TABANLI ARAMA.....	16
ŞEKİL 2.2. İÇERİK TABANLI ERİŞİM İÇİN GENEL ÇALIŞMA YAPISI(CBIR).....	18
ŞEKİL 2.3. İÇERİK TABANLI YAKLAŞIM İÇİN SORGU ÖRNEĞİ	20
ŞEKİL 2.4. İÇERİK TABANLI GÖRÜNTÜ ERİŞİM SİSTEMİ İÇİN ÖNERİLEN SİSTEM YAPISI	21
ŞEKİL 2.5. COREL VERİTABANINDA FARKLI TİPTE SORGULAR.....	23
ŞEKİL 3.1. CEZANNE' A AİT BİR TABLO VE RENK HİSTOGRAMI.....	34
ŞEKİL 3.2. BİR ŞEKLİN TEMEL ALFABE KODLAMASI.....	36
ŞEKİL 3.3. BİR RESİM İÇERİSİNDEKİ BÖLGELER VE AYRIŞTIRMASI.....	37
ŞEKİL 4.1. DOKU ÖRNEKLERİ.....	42
ŞEKİL 4.2. YAPAY DOKULAR.....	43
ŞEKİL 4.3. DÜZGÜN, KABA, DÜZENLİ DOKULAR	44
ŞEKİL 5.1. BRODATZ VERİ TABANINDAN DOKU ÖRNEKLERİ.....	49
ŞEKİL 5.2. BİRİNCİ VE İKİNCİ MOMENTE KARŞILIK GELEN MASKE KATSAYILARI	51
ŞEKİL 5.3. ÖZİLİNTİ İŞLEVINİN 1-D PROFİLİ.....	52
ŞEKİL 5.4. GRİ SEVİYE EŞ OLUŞUM MATRİSİ	54
ŞEKİL 5.5. GRİ TONDA BİR GÖRÜNTÜNÜN ÜÇ FARKLI EŞ OLUŞUM MATRİSİ	56
ŞEKİL 5.6. TEK SEVİYELİ DALGACIK ANALİZ FİLTRE BANKASI	64
ŞEKİL 5.7. DD AYRIŞIMI (A) TEK SEVİYELİ AYRIŞIM (B) İKİ SEVİYELİ AYRIŞIM	64
ŞEKİL 5.8. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ	65
ŞEKİL 5.9. DPA İLE DD AYRIŞIMININ AĞAÇ YAPISI	67
ŞEKİL 5.10. ÜÇ ÖLÇEKLİ SEKİZ YÖNELİMLİ GABOR SÜZGEÇ YAPISI	69
ŞEKİL 5.11. GABOR DALGACIK ÇEKİRDEĞİNİN DÖRT EVRELİ BİLEŞENLERİ.....	70
ŞEKİL 5.12. GABOR ENERJİ FİLTRESİ	72
ŞEKİL 5.13. KARMAŞIK BİR SİNÜSOİDİN GERÇEK VE SANAL BÖLÜMLERİ.....	73
ŞEKİL 5.14. GAUSSİAN ZARFI.....	75
ŞEKİL 6.1. İKİ BOYUTLU METRİK ALANDAN ÖKLİT UZAKLIĞI.....	77
ŞEKİL 7.1. BRODATZ VERİTABANINDAN ÖRNEKLER	79
ŞEKİL 7.2. OLUŞTURULAN VERİTABANINDAN ÖRNEK BİR KESİT	81
ŞEKİL 7.3. DOKU TABANLI BİR CBIR SİSTEMİ MATLAB ARAYÜZÜ.....	82
ŞEKİL 7.4. GRİ SEVİYE EŞ OLUŞUM MATRİSİ ANMA-DUYARLILIK SONUÇLARI	84
ŞEKİL 7.5. ÖRNEK SORGU RESMİ	86
ŞEKİL 7.6. GLCM YÖNTEMİNE GÖRE BULUNAN SONUÇLAR	86
ŞEKİL 7.7. GLRLM YÖNTEMİ İÇİN ANMA DUYARLIK BAŞARIMI.....	88
ŞEKİL 7.8. GLRLM YÖNTEMİ İLE BULUNAN RESİMLER.....	90
ŞEKİL 7.9. ÜÇ SEVİYELİ DALGACIK AYRIŞTIRMASI; YAKLAŞIM, YATAY, DİKEY VE DİYAGONAL BİLEŞENLER.....	92
ŞEKİL 7.10. EŞİKLEME YÖNTEMİ.....	93
ŞEKİL 7.11. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ ANMA-DUYARLILIK BAŞARIMI.....	94
ŞEKİL 7.12. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ ENERJİ ÖZELLİĞİNE GÖRE BULUNAN RESİMLER	95
ŞEKİL 7.13. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ STANDART SAPMA ÖZELLİĞİNE GÖRE BULUNAN RESİMLER	96
ŞEKİL 7.14. GABOR DÖNÜŞÜMÜ ANMA-DUYARLILIK BAŞARIMI.....	97
ŞEKİL 7.15. GABOR DÖNÜŞÜMÜ SONUCU BULUNAN RESİMLER	98
ŞEKİL 7.16. KÜMÜLATİF ANMA DUYARLIK BAŞARIMI.....	99
ŞEKİL 7.17. KULLANILAN YÖNTEMLER İÇİN KÜMÜLATİF ANMA DUYARLILIK ÇALIŞMA ZAMAN GRAFİĞİ	100

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

TABLO 4.1. DOKU ANALİZ METOTLARININ SINIFLANDIRMASI.....	46
TABLO 5.1. HİSTOGRAM İSTATİSTİKLERİ.....	49
TABLO 7.1. GLCM İÇİN KULLANILAN ÖZNİTELİKLER ÇİZELGESİ	85
TABLO 7.2. GLRLM YÖNTEMİ İÇİN KULLANILAN ÖZNİTELİKLER ÇİZELGESİ	89

SEMBOLLER LİSTESİ

CBIR	: Content Based Image Retrieval
GLCM	: Gray Level Cooccurence Matrix
GLRLM	: Gray Level Run Length Matrix
DD	: Dalgacık Dönüşümü
DPA	: Dalgacık Paket Ayırımı
ADD	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
SRE	: Short Run Emphasis
LRE	: Long Run Emphasis
GLN	: Gray-Level Nonuniformity
RLN	: Run Length Nonuniformity
RP	: Run Percentage
LGRE	: Low Gray-Level Run Emphasis
HGRE	: High Gray-Level Run Emphasis
SRLGE	: Short Run Low Gray-Level Emphasis
SRHGE	: Short Run High Gray-Level Emphasis
LRLGE	: Long Run Low Gray-Level Emphasis
LRHGE	: Long Run High Gray-Level Emphasis

1. GİRİŞ

Son zamanlarda çoklu ortam veritabanı sistemleri çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bilişim dünyasında görsellik gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Günümüzde çoklu ortam verisi hem kişisel hem de kurumsal anlamda önemli bir yere sahiptir. Artık binlerce resim veya görüntüden oluşan verilerin kurumsal veritabanlarında saklanması ve istenildiğinde bu verilere güvenle ulaşılabilmesi önemli bir bilgisayar dünyası problemidir. Gün geçtikçe sayısal görüntü koleksiyonlarının sayısı hızla artmakta ve bu artışa paralel olarak da kullanıcıların aradıkları sayısal nesnelere erişimi güçleşmektedir. Gerek bireyler ve gerekse kurumlar görüntü arşivlerini oluştururlarken erişimde ciddi sıkıntılarla karşılaşmaktadırlar. Görsel bilgi kelimelerle tanımlanamayan ancak sezgisel olarak algılanabilen bir yapıya sahiptir. Bu nedenle sayısal nesnelere erişim durumlarında metin tabanlı bilgiden daha fazlasının talep edilmesi kaçınılmaz olur ve bu durum veri içeriğini değerli bir hale getirir. İşte bu şekilde veri içeriği üzerinden bir erişim söz konusu ise bu tür yapılara içerik tabanlı erişim sistemi denir [1].

Bu tez çalışmasında temel olarak biyomedikal görüntüler kullanılarak bir imge madenciliği ve görüntü erişim sistemi yaklaşımı olan içerik tabanlı görüntü erişim sistemleri için dokusal anlamda analizler yapılmış ve özellik çıkartımı için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Amaç, içerik tabanlı görüntü erişim sistemlerini incelemek ve gerçekten uygun, başarılı dokusal öznitelik bulma algoritmalarını uygulamaktır. Elde edilen bilgi, biyomedikal görüntü işleme alanında imgelerin doku tabanlı çözümü ve analizi için daha sonra yapılacak araştırmalara yol gösterici olacaktır.

Yapılan tüm dokusal analiz ve özellik çıkarma çalışmalarında öncelikli soru, ‘dokusal’ yada ‘doku’ ifadesinin ne anlama geldiğidir. Literatürde birçok tanım mevcuttur, fakat tek bir tanım üzerinde hemfikir olunmamıştır. Renk, düzgünlük, incelik, kalınlık, tekrarlılık gibi bazı ifadeler dokusal bazı özellikler olarak dokuyu tanımlamada kullanılmaktadır. Nesne yüzeyinin görsel duyu ile ayırt edici bütün özellikleri imge arama sistemleri için dokusal özneliği oluşturan özelliklerdir [2]. Bu çalışmada da doku ve dokusal özellikler bağlamında detaylı bir araştırma yapılmış, belirlenen yöntemler ve algoritmalar kullanılmış, sonuç ve uygulama kısmında çalışmaların sonuçları sunulmuştur.

İçerik tabanlı sistemlere niçin ihtiyaç duyulduğu şöyle açıklanabilir; Son yıllara kadar bilgisayar dünyasında mevcut olan en çok bilgi metin ve sayı tabanlıydı. Yeni MPEG

standartları, zengin internet ortamı, müzelerin görüntü veritabanları, tıp arşivleri, çoklu ortam ile ilgili bilgileri günden güne artması metin tabanlı tanımlayıcı dizinlemeyi gelişmiş araştırmalar ve kuruluşlar için imkansız kılmaya başlamıştır. Metin tabanlı bir dizinlemede belirleyici tanımlar yapıyı oluşturacak operatörün yorumuna ve bilgisine bırakıldığı için ve bir resmin yorumlanması çoğunlukla sezgisel olduğundan bu tanımlamalar yeterli olmayacaktır. Farklı kişiler aynı resim için farklı yorumlar getirebilecektir. Bu da yapının yetersizliğini ortaya koymak için yeterlidir. Bu yüzden içerik tabanlı görüntü erişim sistemleri 1980’lerde geliştirilmeye başlanmıştır [3,4]. Tez içerik tabanlı bir imge erişim sistemi için bir altyapı oluşturma niteliği taşımaktadır. Tezin amacı, çeşitli doku algoritmalarının başarımını karşılaştırmak ve özellikle literatürde eksikliğini gördüğümüz biyomedikal imgeler üzerine yoğunlaşarak bu noktadaki eksikliği gidermektir.

Görüntü erişim işleminde, genel olarak iki temel yaklaşım vardır. Bunlar ‘istatistiksel yaklaşım’ ve ‘yapısal yaklaşım’dır. Erişim sistemlerinde, bazen başa çıkılması çok uzun zaman alabilecek yapısal olmayan oldukça fazla bilgiyle karşı karşıya kalınabilir [29]. Daha da önemlisi, böyle kullanıcı tarafından yapılan bir araştırmayla erişim esnasında kullanılabilecek bütün alternatifler mümkün olan en kısa çözüme ulaşmak için genellikle ihmal edilir.

Tez biyomedikal görüntüler üzerinde analizi gerçekleştirirken ‘yapısal yaklaşım’ içerisinde yer alan uzaysal alan metotlarını ve görüntü işleme algoritmalarını kullanmaktadır.

2. İÇERİK TABANLI GÖRÜNTÜ ERİŞİM SİSTEMLERİ

2.1. Giriş

İstenilen görüntüyü bir koleksiyonun içinden bulma ihtiyacı; suç önleme, tıp, mimari, sanat, moda, yayıncılık gibi alanlardaki birçok kişi tarafından ihtiyaç olarak kabul edilmektedir. Kullanımlar, uygulamaya göre değişiklik gösterir: sanat koleksiyonu kullanıcıları belli bir sanatçının sanat eserlerini veya gördükleri bir eserin hangi sanatçıya ait olduğunu bulmak isteyebilirler. Medikal veri tabanı kullanıcıları, anatomi çalışan öğrenciler ya da belli bir hastalığın örnek vakalarını arayan bir doktor olabilir.

Görüntü veri tabanları çok büyük olabilir ve yüz milyonlarca ya da milyonlarca görüntü içerebilir. İlk hesaplamalara göre tek bir “14x17” boyutundaki röntgen filmi yaklaşık olarak 24MB olarak sayısallaştırılabiliyordu. Birçok röntgen filmi gerektiren muayene ve her yıl yapılan ortalama muayene sayısı gibi diğer faktörlerle birlikte düşünüldüğünde büyük bir hastane için görüntü veri tabanı terabaytlar seviyesinde bir depolama alanı ve işlem yükü demektir [6].

Çoğu durumda bu veri tabanları, seçilmesi gereken ve bir insan sınıflandırıcı tarafından veri tabanı sistemine gönderilen anahtar sözcüklerle dizinlenebilir. Başlıklar, yazarlar, simge yazısı ve tanımlayıcı etiketler çok sayıda bilginin özetlenmesi için doğal bir yol sağlar. Birinci kuşak görsel bilgi erişim sistemleri, kısaca neyin betimlendiğini ve anlamını özetleyen öznitelikler dizisi sayesinde görüntülere erişimi sağlamıştır. Ek açıklama metni az yer kaplar ve geleneksel SQL gibi sorgulama dillerini ya da doğal dil işlemine ve yapay zeka metodlarına dayanan tam metin erişimini kullanarak metinsel alanlarda çalışan geleneksel arama motorlarının yardımıyla çok sayıda bilgiye hızlı erişimi sağlar. Ama görüntü veri tabanının, ek açıklamaya ihtiyacı olduğu zaman etiketleri, kullanıcı, eli ile büyük bir zahmet ve bir görüntünün sözlü olmayan sembollerle ifadesinin öznel, bireysel yorumunun neden olduğu zahmetlice bilgisayara girmek zorundadır [7,8].

Birinci kuşak diye nitelendirebileceğimiz bu şekildeki sistemlerin ana sorunu, resmin ne anlama geldiğinin ya da bir anlam ifade edip etmediğinin belli bir kesinlikle açıkça ifade edilememesidir.

Yeni kuşak görsel bilgi erişim sistemleri ise, görsel içerikle tam erişimi destekler. Görsel bilgiye erişim, sadece metinsel alanlarda olduğu gibi anahtar sözcükleri kullanarak kavramsal bir düzeyde uygulanmaz, aynı zamanda görsel içeriğin nesnel ölçümlerini ve

uygun benzerlik modellerini kullanarak algısal düzeyde de uygulanır. Bu sistemlerde, görüntü işleme, örüntü tanıma ve bilgisayar görüntüsü, sistemin yapım ve işleminin ayrılmaz parçasıdır. Bunlar, piksel dağılımının nesnel analizlerine ve işlenmemiş duyuşal girdilerinden alınan otomatik çıkarım ölçümlerine izin verirler [7].

Bir bilimsel disiplin olarak bilgi erişimi aşağıda maddeler halinde sıralanan temel özellikleri içerir;

- Bilgi toplama,
- Sınıflama,
- Kataloqlama,
- Depolama,
- Büyük miktardaki verilerden arama yapma ve bu veriler içerisinde istenen bilgiyi üretme.

Bu bilgi erişim süreçlerinin sağlıklı işleyebilmesi için dizinleme ve sınıflama sistemleri oluşturulmakta, arama motorları ve arama robotları tasarlanmaktadır. Fakat tasarlanan sistemlerin ve araçların yeterli olmadığı görülmektedir. Metinsel erişimle ilgili problemler bile tam anlamıyla çözümlenememişken, görsel bilgiye erişimin kıymeti ve zorluğu açığa çıkmaktadır. Kullanıcılara gezegendeki her hangi bir yerden birçok ortamdaki bilgilere erişimlerini sağlayan 1990'ların başlarında dünya çapında bir ağın oluşturulması, dijital görüntülerden yararlanma konusunda hemen hemen herkeste heyecan uyandırmıştır. Web'de bulunan görüntü sayısı, Sclaroff ve diğerleri tarafından 1997'de 10 ila 30 milyon arasında olduğu tahmin edilmiştir. Günümüzde ise bu sayının üç milyarı aştığı tahmin edilmektedir. Sayısal görüntü miktarındaki bu hızlı artış ve kullanıcıların deneyimlerindeki sınırlamalar görsel bilgi erişim sistemlerinin sorunlarını artırmaktadır [3,8].

Görsel bilgi iki temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan biri, nesne ile ilgili bilgiyi içeren üst veri (metadata), diğeri ise görsel nitelikler olarak adlandırabileceğimiz nesnenin kendisinde bulunan bilgidir. Üst veri metinsel nitelik taşımakla birlikte genellikle veri tabanları ile ilişkilendirilen bir yapıya sahiptir. Görsel nitelikler ise görsel malzemedan bir dizi bilgisayar işlemi sonucunda elde edilmektedir. Bu işlemler arasında özellikle görüntü işleme ve çeşitli geometrik hesaplamalar önemli bir yer tutmaktadır.

Görsel nesneler görüntü ve hareketli görüntü olmak üzere temelde iki grupta incelenmektedir. Elektronik ortamda “ jpeg”, “tiff” ve “gif” gibi dosya formatları ile

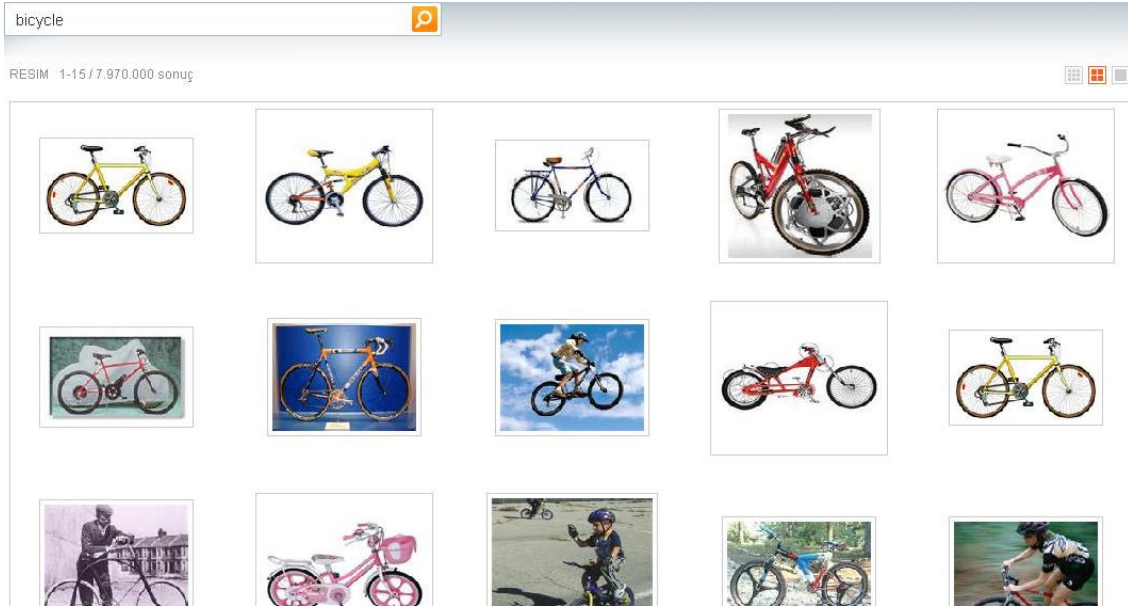
depolanan fotoğraf, resim, grafik ve benzeri biçimlerdeki materyaller için görüntü; “mpeg”, “avi” ve “mov” gibi dosya formatları ile depolanan klip veya video görüntüsü özelliği taşıyan materyalleri tanımlamak için de hareketli görüntü ifadeleri kullanılmaktadır. Tez çalışmaları kapsamında görüntü veya imge denildiğinde yukarıdaki ilk tanımda yer alan materyaller kastedilmektedir.

Görüntü erişim sistemleri ile ilgili çalışmaların temeli teorik anlamda 1970’lere kadar gitmektedir. Zaman içerisinde söz konusu çalışmalara olan ilgi hızla artmıştır. Görüntü erişimi üzerine yapılan çalışmalar farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Temel olarak üç farklı yaklaşımdan söz edilebilir [1]. Bunlar;

- Metin Tabanlı Görüntü Erişimi,
- Kullanıcı Etkileşimli Görüntü Erişimi,
- İçerik Tabanlı Görüntü erişimi

Metin tabanlı görüntü erişiminde kelime ya da kelime grupları kullanılarak bir görsel yapıyı bütün yönleriyle ifade edebilmek önemlidir. Ama kullanıcı söz konusu materyali farklı yönleri ile öne çıkarabileceği ve bu özellikleri kullanarak bir görsel nesneyi arayabileceği düşünülürse metin tabanlı görüntü erişim sistemlerinin yetersizliği anlaşılmış olur. Bir tek imgenin her yönüyle ifade edilebilmesi için bile çok fazla dizin terimi gerekmektedir. Bu işlemin de insanlar tarafından çoğunlukla el ile yapılması emeği ve işin zorluğunu artırmaktadır.

Arama motorları ilk kurulduklarında metin tabanlı yapıda oluşturulmuş indekslere göre bir arama mantığı ile çalışmaktaydı. Böyle bir yapıda imgenin tanımındaki kelimelerle aranan kelimeler arasında metinsel bir eşleştirme yapılarak sonuçlar sunulmaktadır. Artık günümüzde bazı ticari Web arama motorları, bir içerik tabanlı erişim seçeneği ile karşımıza çıkmaktadır: Örneğin Yahoo Excalibur teknolojisine dayanan Image Surfer, ve Virage teknolojisini kullanan Alta Vista AV Photo Finder bu sistemlere örnek olarak gösterilebilir. Aşağıda “bicycle” kelimesi ile metinsel aramanın bir örneği görülmektedir.



Şekil 2.1. Metin Tabanlı Arama

Kullanıcı etkileşimli görüntü erişim sistemleri ile farklı disiplinlerde bulunan, birbirinden farklı bilgi gereksinimlerine sahip kullanıcıların sorgu türleri analiz edilebilmektedir. Bu tip sistemlerde kullanıcıların bilgi arama davranışları ile sistemin örtüşmesi sağlanmak istenir. Önemli olan kullanıcının bilgi gereksinimidir ve bu gereksinim kullanıcıların arka plan bilgileri ve ilgi alanları ile örtüşmektedir.

Çeşitli disiplinlere yönelik olarak o disiplinin kullanıcılarının gereksinim duyduğu görsel bilgiye erişim sağlamayı kolaylaştıracak sistemler tasarlanmaktadır. Örneğin gazetecilik, kriminoloji, tıp, sanat tarihi gibi alanlar bu tip araştırmalara konu olan alanlardır [13].

Konu ile ilgili literatür incelendiğinde özellikle üzerinde durulan yaklaşımın içerik tabanlı görüntü erişimi olduğu görülmektedir. Geniş kapsamlı görsel materyal içeren koleksiyonların düzenlenmesi için metin tabanlı ve otomatik olmayan sistemlerin kullanımının yetersiz olacağı görülmüş ve bu nedenle malzemelerin kendi içerikleriyle, örneğin renk, doku ya da şekilleriyle dizinlenmesi konusunda çalışmalar yoğunlaşmıştır [14].

İmgenin içeriği temel alınarak erişimin yapıldığı sistemlere ise içerik tabanlı görüntü erişim sistemi adı verilir [1]. Bu tür bir sistem kısaca CBIR (Content Based Image

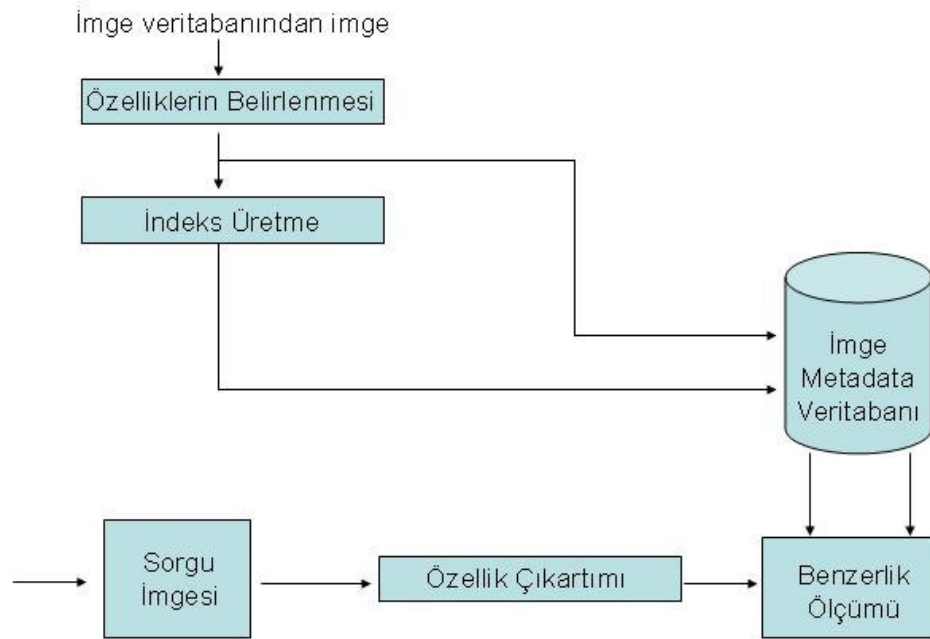
Retrieval) olarak anılır. Literatürde ‘içerik tabanlı görüntü erişim’ teriminin ilk kullanımı, 1992’de renk ve şekil öznitelikleriyle bir veri tabanından görüntülerin otomatik erişimi ile ilgili deneylerini tanımlamak için kullanan Kato’ya aittir [6,7]. O zamandan beri bu terimin kullanımı, otomatik olarak görüntülerin kendilerinden de çıkarılabilen renk, yapı ve şekil gibi özniteliklerin temeline dayanarak büyük bir koleksiyon içinden istenilen görüntüye erişim işlemini tanımlamak için yaygınlaşmaya başlamıştır. Erişim için kullanılan öznitelikler, ya ilkel ya da anlamsal olabilmekle beraber seçip çıkarma işlemi, ağırlıklı olarak otomatik olmalıdır. Anahtar sözcükler görüntü içeriğini tanımlasa bile, elle anahtar sözcüklerin belirlendiği görüntülere erişim, sanıldığığının aksine CBIR değildir.

Alfasayısal veri tabanları, çok sayıda bilginin yerel bir depoda saklanmasına ve uygun sorgulama dilleri yoluyla içerik tarafından erişilmesine izin verir; bilgi, verimliliğin sağlanması için yapılandırılır. Diğer taraftan CBIR sistemleri yapılaşmamış, metinsel belgelere erişimi sağlar çünkü sayısallaştırılmış görüntüler, bütünüyle kalıtsal bir anlama sahip olmayan piksel yoğunlukların dizinlerinden oluşur. Herhangi bir görüntü işleme olayı ile ilgili ana konulardan biri de görüntünün içeriği ile ilgili herhangi bir şekilde akıl yürütme mümkün olmadan önce özel şekiller, renkler ya da görüntülerin varlığının tanınması gibi işlenmemiş bilgilerden yararlı bilgileri seçip çıkarmaktır. Görüntü veri tabanları; temelde bu yüzden işlenmemiş materyallerin, ASCII karakter dizileri olarak depolanan kelimelerin, yazar tarafından mantıksal olarak zaten yapılandırıldığı alfasayısal veritabanlarından ayrılır [3].

İçerik tabanlı görüntü erişimi, sorgu görüntüsü ile depolanmış görüntülerin veri tabanları arasında doğrudan bir eşleştirme işlemi gerektirir. Bu işlem, görüntünün kendine mahsus özellikleri için öznitelik vektörü hesaplamayı da gerektirir. Benzerlik, görüntünün öznitelik vektörleri karşılaştırılarak hesaplanır. Bu işlemin sonucu, öznitelik vektörleri tarafından temsil edilen iki görüntü arasındaki görme uzaklığını ölçen nicelenmiş benzerlik derecesidir.

Görüntü kodlama, depolama, sıkıştırma, gönderme, görüntüleme, öznitelik açıklaması ve eşleştirme yapılırken yaşanan görüntü erişim sorunları büyük ölçüde tanımlanmıştır. Bu sorunların çözümleri için yapılan inceleme alanları ve sayıları artmıştır.

Görsel bilgi erişiminde gerekli olan bilginin çeşitliliği boldur. Ayrı ayrı ortaya çıkan farklı araştırma alanları bu araştırma konusuna önemli katkılar sağlamaktadır. Bilgi erişimi, görsel bilgi modelleme ve gösterme, görüntü/video analizi ve işlemi, örüntü tanımlama ve bilgisayar görüntüsü, çoklu ortam veritabanı düzenlemesi, çok yönlü dizinleme, kullanıcı davranışlarının psikolojik modellenmesi, insan-makine etkileşimi ve bilgi görüntüleme, yazılım mühendisliği ayrı ama birbirleriyle ilişkili olan bir yolla görsel bilgi aramaya katkıda bulunan en önemli araştırma alanlarıdır [9]. Şekil 2.2 basit bir CBIR sistemini temsili olarak göstermektedir.



Şekil 2.2. İçerik tabanlı erişim için genel çalışma yapısı (CBIR)

CBIR sistemlerinde görüntüler araştırılır ve yeniden bir erişim sağlanır, Bu erişim resmin görsel içeriği ile sağlanır. Görüntü özellikleri çıkarılabilir ve endeks veya arama temeli olarak kullanılabilir.

Temel olarak bir CBIR sistemi 3 modülden oluşmaktadır.

1. Görsel içerik ve özellik çıkartımı
2. Çok boyutlu endeksleme
3. Geri alma

İmge veritabanındaki resimler resmin doğasında var olan görsel içerik özelliklerine göre endekslenmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi renk, doku, örüntü, imge topolojisi, nesnelerin şekilleri, yönleri, yerleri gibi özellikler burada baz alınan temel özelliklerdir. Bir resim çok boyutlu bir vektör olarak sunulabilir. Bu vektörde çıkartılmış olan tüm bu özellikler yer alabilir ve bu özellik vektörüne resmin imzası adı verilir [22].

Sonuç olarak endeksleme tabanlı içerik kullanımı ile örnek görüntü sorgu olarak kullanılabilir. Sorgu resmi görsel özelliklerin çıkartılması için analiz edilebilir ve veri tabanında kayıtlı diğer resimler ile benzerliklerin bulunması için karşılaştırılabilir. Çıkartılmış özellikler üst veri ismi ile depolanır ve görüntüler bu üst veriye göre endekslenir.

Yukarıda verilen bu üç CBIR modülü arasında görsel öznitelik çıkartımı, içerik tabanlı görüntü erişim sistemlerinin temeli olarak kabul edilir. Öznitelik çıkartımı sayesinde görsel nesnelerin renk, doku ve şekil özelliklerinin sisteme aktarılması ve bunların görsel içerikleri ile dizinlenmesi sağlanır [22]. Tez yukarıda şekli verilen CBIR yapısına uygun olarak bir analiz gerçekleştirilmektedir.

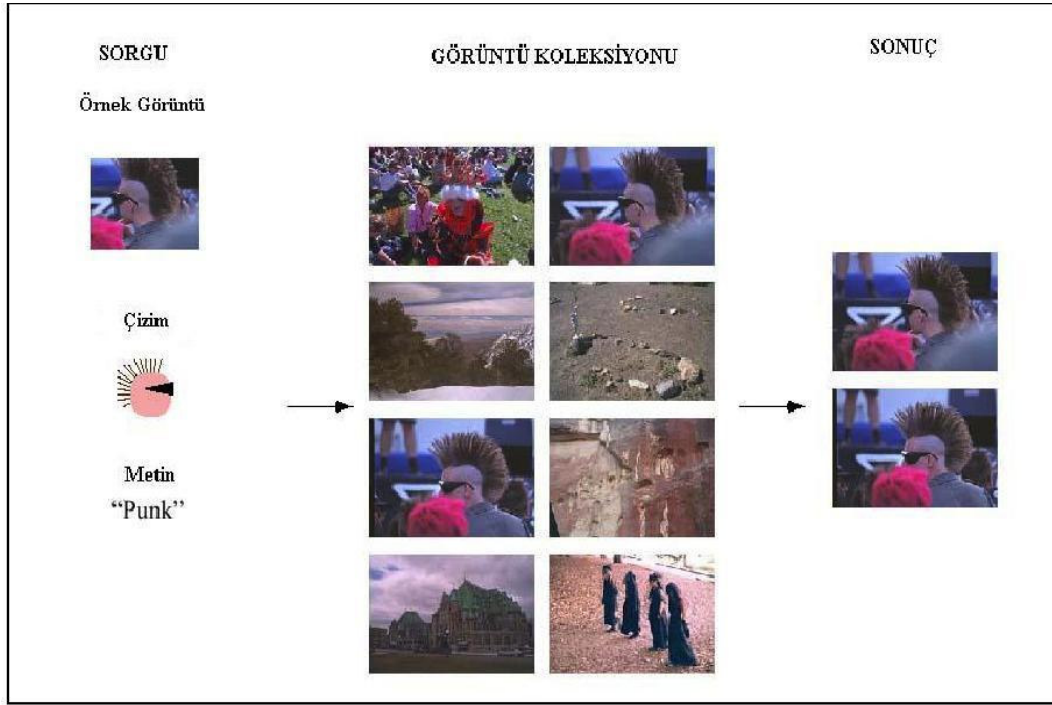
Yüksek boyutlu dizinleme, dizinlenecek materyalin karmaşık yapısının bilgi erişim sistemine uyarlanması için geliştirilmiş bir dizi tekniği ifade eder. Bu teknikler temelde iki noktada odaklanmaktadır. Birincisi genelde yüksek boyutlu olan öznitelik vektörlerinin boyutlarının azaltılması, ikincisi ise insan algılamasına yönelik görsel benzerlik hesaplamalarını içeren çok boyutlu endeksleme tekniklerinin geliştirilmesidir. Boyut azaltımı, erişim kalitesi ve kolaylığını etkilemeyecek şekilde öznitelik vektörleri üzerinde çeşitli matematiksel işlemler uygulanarak boyutlarının düşürülmesidir. Çok boyutlu dizinleme alanına aktif olarak katkı yapan üç önemli araştırma alanı bulunmaktadır. Bunlar hesaba dayalı geometri, veri tabanı yönetimi ve örüntü tanımadır. Buradaki yöntemler, dizinleme yöntemlerini benzerlik ölçümlerine göre uyarlama yönünde kümele ve sınır ağları gibi teknikler içerir [10].

Görüntü erişimi sistemleri genellikle aşağıda verilen temel özelliklerden birini ya da daha fazlasını desteklemektedir. Bu özellikler şunlardır:

- Rastgele göz gezdirme,
- Örnek kullanarak arama yapma,
- Taslak çizerek arama yapma,

- Metin ile arama yapma,
- İsteğe göre uyarlanmış görüntü kategorileri arasında dolaşma.

İçerik tabanlı görüntü erişim sistemlerinde bu özelliklerin yanı sıra metinsel bilginin de aramaya dahil edilmesi mümkündür. Şekil 2.3'te metin ve şekil kullanılarak yapılan bir içerik tabanlı görüntü erişim sistemi taraması ve sonuçları görülmektedir. Küçük bir örnek görüntü üzerinden veya kullanıcıdan alınan bir taslak resim veya endeksleme yapısına göre metinle arama yapabilmek mümkündür. Şekilde "punk" anahtar metni ile yapılan bir tarama ile görüntü koleksiyonundan çıkarılan resimler sonuç başlığı altında gösterilmiştir. Görüntü koleksiyonu imge veritabanındaki resimleri temsil etmektedir [11].



Şekil 2.3. İçerik tabanlı yaklaşım için sorgu örneği

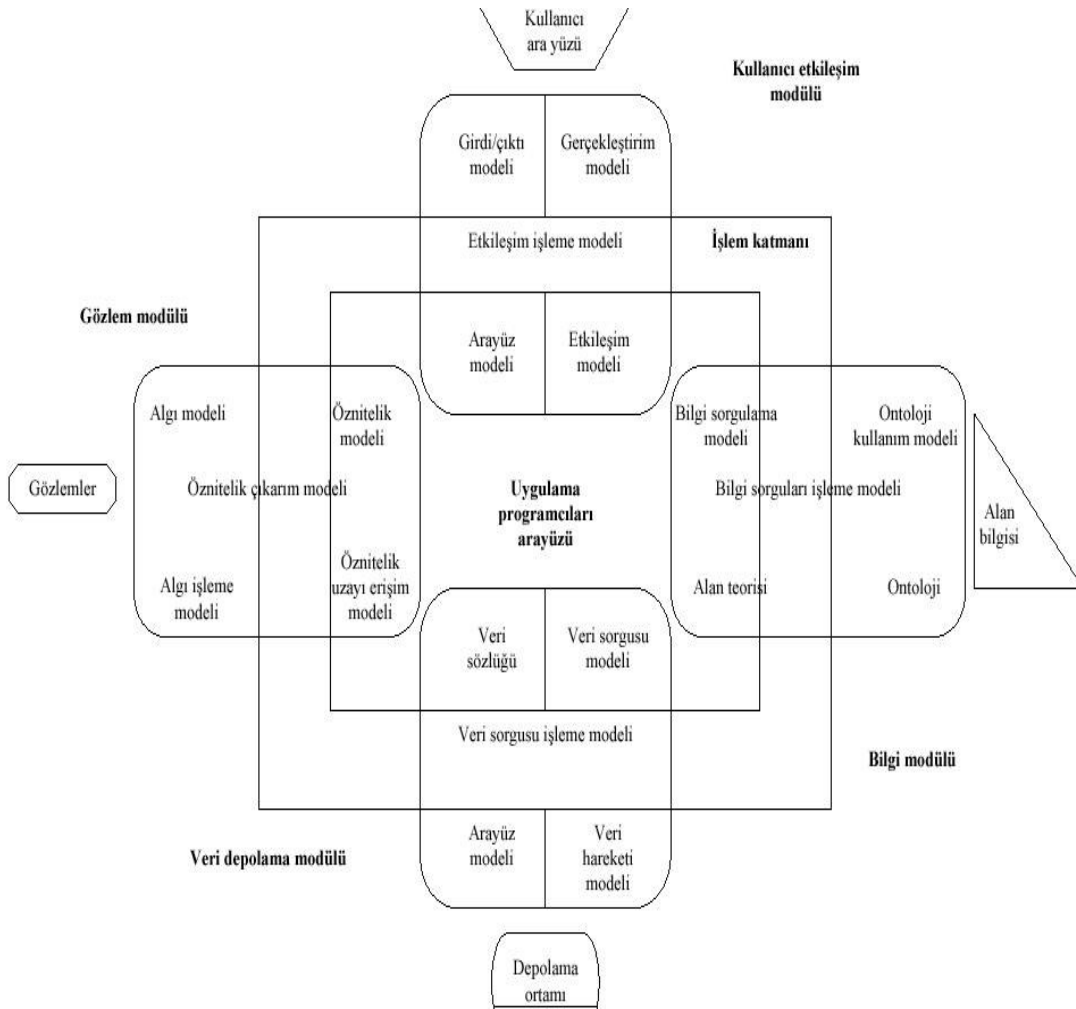
2.2. İçerik Tabanlı Görüntü Erişim Sistemlerinin Mimarisi

İçerik tabanlı görüntü erişim sistemleri için literatür incelendiğinde 2000 yılında Smeulders ve arkadaşları tarafından önerilen yapı uygun bir yapı olarak kabul görmüştür. Sistem mimarisi çok kullanıcı ve geniş çaplı koleksiyonlarda verilerin ve özniteliklerin

isimlendirilmiş dosyalar altında tutulduğu karmaşık bir yapı gösterir. Bütünlüğü olan bir sistem tasarımı için dört modülden oluşan bir iskelet önerilmektedir [17].

- Algısal ve özniteliksel hesaplama modülü
- Alan bilgisi ve yorum modülü
- Etkileşim ve kullanıcı ara yüzü modülü
- Depolama ve endeksleme modülü

Günümüzde bu modüllerin tamamını içeren bir sisteme sahip bir içerik tabanlı görüntü erişim sisteminin tasarlanması zor olduğu bilinmekle birlikte, sistem mimarisi açısından etkinliğin artırılabilmesi için bu tip bir yapının geliştirilmesi önemlidir [17].



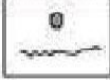
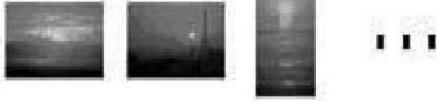
Şekil 2.4. İçerik tabanlı görüntü erişim sistemi için önerilen sistem yapısı

Görsel nesnelerin kendilerine has özelliklerinin birer erişim noktası olarak kullanılması, sistemin etkinliği açısından önemlidir. Doku, renk gibi öznitelikleriyle tanımlanan görsel nesneler bütünlükleri korunarak sistem içerisinde depolanmaktadırlar. Öznitelik vektörleri, her öznitelik vektörüne bir kayıt olacak şekilde standart doğrusal kütüklerle depolanmaktadır. Dizinleme ise, alan bölümlleme, veri bölümlleme, uzaklık tabanlı dizinleme teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Alan bölümlleme tekniğinde, özellik alanı ağaç biçimli olarak düzenlenmiştir. Bu ağaç biçimli yapıdaki her düğüm bu alan içerisindeki bir bölgeye denk gelmektedir. Bir bölgedeki noktalar önceden belirlenmiş miktarı aştığında bölge, alt bölgelere ayrılmaktadır.

Veri bölümlleme tekniği özellik alanındaki her noktayı, vektöre komşuluk eden bir bölge ile birleştirme özelliğine sahiptir. Uzaklık tabanlı dizin yapılarındaki mantık ise, bir örnek noktanın belirlenip, özellik alanının geri kalanının örnek çevresinde eşmerkezli halkalar oluşturacak biçimde bölünmesi biçimindedir.

Salt okunur veritabanlarının bir adım sonrası, görsel bilgi erişimi için genişletilmiş veri tabanı yönetim sistemleri olarak gösterilmektedir. İlk geliştirilen CBIR programları olan QBIC ve Virage bu tür sistemler için ilk akla gelenlerdendir. Şekil 2.5'te standart COREL veri tabanındaki bazı sorgular gösterilmiştir.

	Örnek sorgu	Örnek sorgu sonucu
tam	Uzamsal ifade / Spatial predicate 	
	Görüntü ifadesi / Image predicate <i>Amount of "sky" > 20% and amount of "sand" > 30%</i>	
	Grup ifadesi / Group predicate <i>Location = "Africa"</i>	
yaklaşık	Uzamsal örnek / Spatial example 	
	Görüntü örneği / Image example 	
	Grup örneği / Group example 	

Şekil 2.5. Corel veritabanında farklı tipte sorgular

2.3. İçerik Tabanlı Erişim Sistemlerinin Pratik Uygulamaları

Hareketsiz görüntülerin ve videoların tam görsel erişimlerinin önemli olduğu birçok uygulama vardır. Ancak bu konudaki ilgi hızla artmasına rağmen gerçek anlamda uygulanması henüz başlangıç aşamasındadır. Hareketsiz görüntülerin gelecek vaat eden uygulama alanları şunlardır:

Suç önleme: emniyet teşkilatları genel olarak sanıkların yüz resimleri, parmak izleri ve ayak izlerini içeren görsel kanıtların geniş bir arşivini bulundurlar. Ne zaman bir seri suç izlense olay yerindeki kanıtların arşivlerindeki kayıtlara olan benzerlikleri karşılaştırabilirler ya da bilinen bir kişinin kimliğini doğrulayabilirler ve en çok uyan kayıtları bulmak için bütün veri tabanını araştırma kapasitesine sahip olanları kullanırlar.

Ordu: Askeri uygulamalardaki görüntüleme teknolojisi en çok gelişen görüntüleme teknolojisidir. Düşman uçaklarının radar ekranından tanınması, uydu fotoğraflarından hedeflerin tanımlanması ve füzeler için güdüm sistemlerinin tedarik edilmesi ordu içinde bilinen bazı görüntülü uygulamalardır.

Mimari ve mühendislik tasarımı: Mimari ve mühendislik tasarımı, birçok ortak özelliklere sahiptirler. Tasarım nesnelerini açıklamak için biçimlendirilmiş 2-D ve 3-D modellerinin kullanımı, teknik olmayan alıcılardan faydalanmak için tasarımları görselleştirme gereksinimini ve genelde finansal olan dış kaynaklı kısıtlamalar tasarımcıyı önceki tasarımlardan haberdar olmak mecburiyetinde bırakmaktadır. Bu nedenle bazı şekillerde benzer olan ya da belirlenmiş uygunluk ölçütlerine uyan önceki örnekler için tasarım arşivlerini araştırma yetisi önemli olabilmektedir.

Moda ve iç tasarım: Benzerlikler, moda ve iç tasarımı da kapsayan diğer alanlardaki tasarım işlemlerinde de gözlenebilir. Burada yine tasarımcı materyallerin seçimi gibi dıştan gelen kısıtlamalar dahilinde çalışmak zorundadır. Belli bir renk karışımını veya dokuyu bulmak için kumaş koleksiyonunu araştırma yeteneği, artık tasarım alanı için bir gereksinim olarak tanımlanmaktadır.

Gazetecilik ve reklamcılık: Hem gazeteler hem de arşiv çekim ajansları makaleleri veya ilan kopyalarını açıklayan fotoğraf arşivlerine sahiptirler. Bu arşivler, aşırı derecede büyük olabilir, milyonlarca görüntüyle karşılaşılabilir ve eğer ayrıntılı bir anahtar sözcük dizinleri de sağlanıyorsa bunlara sahip olmak pahalı olabilmektedir. Yayın kuruluşları, belli bir derece otomatik yardım almadan ek açıklama yapmanın hemen hemen imkansız olduğu milyonlarca saat metraj uzunluğundaki video arşivleriyle başa çıkmak gibi daha büyük bir sorunla karşı karşıyadırlar. CBIR teknikleri, bir dizi videoyu tek tek çekimlere bölmek ve her çekim için tanıtıcı kareler oluşturmak için kullanılabilir. Bu şekilde tamamen otomatik araçlarla her video için bir film şeridi oluşturmak mümkündür. Bu uygulama alanı, şu anki CBIR teknolojisinin yaygın kullanımlarından biridir.

Tıbbi Tanı: Radyoloji, histopatoloji ve bilgisayarlı tomografi gibi tanısal tekniklerde modern tıpa giderek artan güven şu an birçok hastane tarafından depolanan medikal görüntülerin sayısında patlama olmasına neden olmuş ve bu görüntülerin önemini de artırmıştır. Medikal görüntüleme sisteminde, adı geçen bir hastayla ilgili görüntüyü gösterebilmenin öncelikli olması beklenirken bunun yanında benzer vakaları tanımlayarak teşhis koymaya yardımcı olması için CBIR tekniklerinin kullanımına giderek artan bir ilgi

oluşmuştur. Bunun örnekleri arasında, Crete Üniversitesindeki 2-D radyolojik görüntülere erişen I2 2c sistemi ve Carneige Üniversitesinde geliştirilmekte olan 3-D nörolojik görüntülere erişim sistemi gösterilebilir. Her ikisi de beyin tümörlerinin tanısında sağlık çalışanlarına yardım amaçlı geliştirilmiştir.

Coğrafik bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama: Tamamen bir görüntüye erişim durumu olmasa da büyük şirketlerdeki pazarlama planı ve dağıtım yapmakla sorumlu yöneticiler, konumsal öznitelikler yoluyla araştırma yapabilmeye ihtiyaç duyarlar. Örneğin 'belli bir mağazaya en yakın 10 tane perakende satıcı bul' gibi. Ordu, uydu görüntülerini analiz etmeyle ilgilenen tek kuruluş değildir. Tarım ve fiziki coğrafya uzmanları, hem araştırmalarında hem de ekinlerin hastalandığı ya da besin değeri bakımında eksik olduğu alanları tanımlamak veya hükümeti çiftçilerin nadasa bıraktıkları için ücret aldıkları tarlaları ekmeleri konusunda onları ikaz etmesi için uyarmak gibi daha pratik amaçlar için bu tip görüntüleri büyük ölçüde kullanmaktadırlar.

Kültürel Miras: Müzeler ve sanat galerileri doğal olarak görsel nesnelerle uğraşmaktadır. Bazı açılardan benzerlik gösteren nesneleri tanımlayabilme yeteneği, hem tarihsel etkileri ortaya koymaya çalışan araştırmacılar için hem de zevklerine hitap eden tabloların ya da heykellerin daha başka örneklerini bulmaya çalışan sanatseverler için yararlı olabilmektedir.

İçerik tabanlı sistemlerin kullanım alanları bu şekilde açıklandıktan sonra takip eden kısımda CBIR sistemlerinin bilinen uygulamaları anlatılacaktır.

IBM firması tarafından geliştirilen QBIC sistemi, sanat arşivi veri tabanında oldukça ayrıntılı denemeler yapmıştır ve yararlı bir tarama aracı olduğunu kanıtlamıştır. Jain ve diğerleri Hindistan'daki bir hindu tapınağı ile ilgili görüntü ve video verilerini yönetmek için CBIR tekniklerini uygulamışlardır. IBM QBIC ilk geliştirilmiş CBIR sistem olarak bilindiği için örnek bir pratik uygulama olarak incelenmiştir.

2.3.1. QBIC

IBM Almaden Araştırma Merkezi tarafından geliştirilmiş olan QBIC (Query By Image Content) ilk ticari içerik tabanlı görüntü erişim sistemi olarak karşımıza çıkmaktadır. QBIC, sistem yapısı olarak ve kullandığı teknikler açısından daha sonra geliştirilen görüntü erişim sistemlerini etkilemiştir. Örneğin Virage Inc. şirketi tarafından gerçekleştirilen Virage isimli içerik tabanlı görüntü erişim sistemi QBIC'e benzer, QBIC tarafından

yapılan işlemleri biraz daha geliştirmiş ve sorgulardaki renk, kompozisyon, doku ve yapı öğelerinin aramalarda ağırlıklarının kullanıcı tarafından ayarlanması olanağı sunmuştur. 1990'lı yılların sonundan itibaren zaman içerisinde birçok içerik tabanlı görüntü erişimi sistemi geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir.

QBIC, IBM tarafından Almaden araştırma merkezinde geliştirilmiş bir projedir ve ürün haline getirilerek "IBM Ultimedia Manager" adı ile pazarlanmaya başlanmıştır. Projede elde edilen bulgular "IBM Digital Libraries" ve DB2 serisi yazılımları ile de entegre edilerek "DB2 Extender" adı ile kullanıma sunulmuştur. QBIC, büyük resim ve video veritabanlarında içerik tabanlı erişim yöntemlerini kullanan bir dizgedir. Dizgede, örnek resim, kullanıcı tarafından verilen çizim, anahtar sözcük, renk ve doku eşlerine göre sorguların yapılması sağlanmaktadır.

QBIC şu temel ilkeye dayanır: Görüntü algılama ve görüntülere anlamlar atama alanında insanlar bilgisayarlardan daha iyidir. Buna karşılık, bir takım renk, doku, şekil gibi kısmen veya tamamen sayılabilen ölçütlerin bulunması açısından ise bilgisayarlar insanlara göre daha üstündür. Bu gerçeklerden yola çıkılarak, QBIC insanların iyi olduğu alanlarda insanlardan, bilgisayarların iyi olduğu alanlarda ise bilgisayarlardan yararlanarak çoklu ortam dizgesini oluşturmayı amaçlamıştır [12].

QBIC sisteminin temel özellikleri şunlardır. İlk özellik, renk, doku, şekil ve resimlerin hareketi gibi hesaplanabilen ve resimlerin içeriğini temsil eden özelliklerin sorgularda kullanılabilmesi, ikincisi ise sorguların grafik bir sorgulama dili ile çizilerek, boyanarak veya seçilerek yapılabilmesidir.

2.3.2. Virage

En iyi bilinen diğer ticari sistem, Virage Inc.'in sunduğu VIR Image Engine'dir. Bu sistem, sistem geliştiricilerin kendi programlarını yapabildikleri bağımsız modüller dizisi şeklinde bir yapı arz eder. Bu da yeni sorgu arabirim türleri oluşturarak ya da görüntülerin belirlenmiş koleksiyonlarını işlemek için isteğe göre ayarlanmış ek modüller oluşturarak sistem geliştirmeyi kolaylaştırır. Hareketsiz görüntüler için kullanılan mevcut işlevler,

anlamsal içerikle, global renk benzerliğiyle, doku benzerliğiyle, yapı benzerliğiyle sorgulama yapmaktadır.

2.3.3. Excalibur

Benzer bir felsefe de Excalibur Teknolojileri tarafından benimsenmiştir. Prensip olarak, uygulama geliştirme aracı olarak piyasaya sürülmüştür, bağımsız arama paketi olarak pazarlanmamaktadır. En iyi bilinen uygulaması İnternet ortamından alınan görüntülerin içerik tabanlı erişimlerine izin veren Yahoo Image Surfer'dır.

2.4. İçerik Tabanlı Görüntü Erişim Sistemlerinin Değerlendirilmesi

Geniş koleksiyona sahip görüntü erişim sistemlerinin değerlendirilmesi, metin tabanlı bilgi erişim sistemlerinde olduğu gibi gerçekleştirilmesi zor ama gerekli bir işlemdir. Geleneksel bilgi erişim sistemlerinde uygulanan duyarlık (precision) ve anma (recall) değerlendirme ölçütleri görüntü erişim sistemlerinin değerlendirilmesinde de kullanılmaktadır. Bu ölçütlerin görüntü erişim sistemlerinde kullanımını formüle etmek için veri kümesini D ile, sorguyu q ile, sorgu için getirilen sonuç kümesini A(q) ile ifade edecek olursak:

Kullanıcı özneliği açısından baktığımızda, yapılan sorguya ilişkin olanlar R(q) ve olmayanlar $\bar{R}$ şeklinde ikiye ayrılır. Bu bilgilerden yola çıkılarak anma ve duyarlık formülleri şöyle verilir.

$$DUYARLIK = \frac{|A(q) \cap R(q)|}{|A(q)|} \quad (2.1)$$

$$ANMA = \frac{|A(q) \cap R(q)|}{|R(q)|} \quad (2.2)$$

Sözel anlatımla açıklanacak olursa, sistem değerlendirmesinde duyarlık (2.1) , sorgu sonucunda elde edilen ilgili görüntülerin sayısının sorgu sonucunda gelen tüm görüntü

sayısına oranıdır. Anma (2.2) ise sorgu sonucunda elde edilen ilgili görüntü sayısının sistemdeki tüm ilgili görüntülerin sayısına oranıdır. Anma, bütün ilgili belgelere erişmede sistemin gücünü ölçer. Duyarlık, sistemin sadece gerekli olan belgeleri bulup getirmesindeki gücünü ölçer [1,29].

Sistemlerin değerlendirilmesi noktasında bu ölçütler yararlı olmakla birlikte, görüntü erişimi söz konusu olduğunda, metin tabanlı bilgi erişim sistemlerinin değerlendirilmesinden daha fazla sorunla karşı karşıya kalınmaktadır. Çünkü gelen sonuç kümesinden ilgili olarak seçileceklerin belirlenmesi zor bir işlemdir. Burada görsel nesnenin anlamını tanımlamadaki güçlükler ve kullanıcıların farklı bakış açıları ön plana çıkmaktadır. Dilsel içerikten bağımsız olarak yapılan yorumlama, insan algısının devreye girmesi bu zorlukların oluşmasında etkilidir.

Bir başka sorun ise görüntü erişim sistemlerinin ilgililik ölçütüne göre değil, sadece sıralı bir liste ya da sorgu sonuçları arasındaki ilişkilerin ön planda olduğu bir sonuç listesi getirmesidir. Bu da formülleri uygulayabilmek için gerekli olan değerlendirmenin yapılmasını güçleştirmektedir.

Duyarlık ve anma ölçütleri bu sorunlara rağmen birçok görüntü erişim sistemi için kullanılabilir. Bu ölçütlerin özellikle, görüntüler için etiketlerin kullanıldığı ya da metinsel tanımlamaların yapıldığı veri tabanlarında kullanışlı olduğu söylenebilir. Ancak insan algısının bu derece önemli olduğu sistemlerde başarımların değerlendirilmesi yapabilmek için sosyal bilimlerden uyarlanacak yöntemlerle görsel bilgi erişim sisteminin değişik bölümlerinin ya da tamamının değerlendirilmesi de mümkündür.

Tezde özellik çıkartımı yöntemlerini karşılaştırma için sonuç kısmında anma ve duyarlık sonuçları kümülatif olarak sunulmuştur.

3. ÇOKLU ORTAM DİZİNLEME YÖNTEMLERİ

3.1. Giriş

Çoklu ortam verilerinin erişiminde iki temel yaklaşım vardır: İlk yaklaşım, sıralı erişim olarak bilinir ve geri getirilecek verilerin sorgularından çekilen özellikler ile veri tabanında saklanan bütün verilerin teker teker benzerliklerinin karşılaştırılması ilkesine dayanır. Karşılaştırmalar çok yoğun zaman alan işlemler olduğu için, erişim yetersiz kalacaktır. Küçük bir veri tabanı için sıralı erişim uygun olabilir. Ama veritabanı hacmi büyüdüğü zaman sıralı erişimin maliyeti de büyüklükle doğrusal olarak artacağından erişim süresi de artacaktır. Bu nedenle, önerilen ikinci yaklaşım erişim süresini azaltacak dizin veya dizinlerin kullanılmasına dayalıdır. Bir dizinleme yapısı kullanımı ile bir sorgunun sonuç kümesi dizinleme yöntemi kullanılarak çok daha hızlı bir şekilde tespit edilebilir [12].

3.2. Çoklu Ortam Gösterim Şekilleri

İçerik tabanlı çoklu ortam arama ve erişim yöntemlerinde kullanılan dizinleme yöntemlerinin başarısı yoğun olarak seçilen gösterim biçimine ve benzerlik ölçütlerine bağlıdır. Örneğin resimler için çoğunlukla kullanılan özellikler doku, renk, şekil ve resim içerisindeki alt-nesneler arasındaki konumsal ve diğer tipteki ilişki özellikleridir. Bu özelliklerden bir veya bir kaçının aynı anda kullanılması sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda genellikle özellik vektörlerinin dizinlemeye uygunlukları araştırılmamıştır. Bir başka deyişle, elde edilen ve içeriği iyi şekilde temsil ettiği belirtilen özellikler genellikle sıralı erişim için düşünülmüş, dizinlemeye ne kadar uygun olduğu veya nasıl dizinlenebilecekleri konusunda çalışmalar yapılmamıştır. Ayrıca bu özelliklerin benzerlik ölçümleri pahalı, karmaşık ve aynı zamanda mevcut dizinleme yapıları içerisinde kullanılmaları zordur [12,15].

3.3. Görsel Nesnelerin Özellikleri

Görsel bilgi üst bilgi ve görsel nitelikler olarak adlandırabileceğimiz iki temel bileşenden oluşmaktadır. Görsel nesneden bir dizi bilgisayar tekniği kullanılarak elde edilen görsel özellikler, kullanıcıların istedikleri görüntülere erişim sağlamalarında önemli rol oynamaktadır.

Görsel nesnelerin özellikleri temel alınarak farklı yöntemler ile gereksinim duyulan görüntülere erişim sağlanmaya çalışılmaktadır. Piksel karşılaştırma yöntemi de görüntü erişiminde sıkça kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu yöntem ile ham verinin piksel değerlerine dayanan bir dizi işlem yapılarak veri tabanında yer alan görüntü ile kullanıcının aradığı görüntü arasında fark/benzerlik bulunup bulunmadığı ölçülmektedir. Söz konusu benzerliğin oranını saptamak için de hata karelerinin ortalaması hesabı kullanılmaktadır [16].

$$HKO = \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y \frac{|a_{ij} - b_{ij}|^2}{x \cdot y} \quad (3.1)$$

Hata karelerinin ortalaması hesabında x.y çarpımı karşılaştırılan piksel bloğu içindeki toplam piksel sayısını, a_{ij} karşılaştırılan iki piksel bloğundan a- bloğu içinde yer alan piksel değerini ve b_{ij} de b-bloğu içinde yer alan piksel değerini ifade etmektedir.

Hata karelerinin ortalaması yöntemini kullanan bir sisteme aşağıdaki tür de sorgular yöneltilebilmektedir:

- “Eğer portakal renginin ortalama değeri; kırmızı=225,yeşil=130 ve mavi=0 olarak tanımlandıysa, 100. ve 200. piksel aralıkları portakal rengi olan tüm görüntüleri bul.”
- “Orta bölümünde, örnek olarak gösterilen resimle yaklaşık olarak aynı renge sahip olan tüm görüntüleri bul.”
- “Verilen resmin en fazla D kadar kaymış hali olan tüm resimleri bul.”

Piksel karşılaştırma yöntemi etkin bir yöntem değildir. Çünkü kullanıcı bakış açısı ile sistemin arama ve bulma kapasitesi tam anlamıyla örtüşmez. Kullanıcı gereksinimi yukarıda yer alan örnek sorgular sonucunda karşılanabiliyorsa görsel bilgi için kullanılan veri modellemesi basittir. Ancak piksel tabanlı bir model çeşitli sorunları da beraberinde getirmektedir. Özellikle gürültüye karşı son derece duyarlıdır. En ufak bir parazit durumunda aranan görüntülere erişim engellenebilmektedir. Gürültüye karşı yüksek duyarlılığı dışında piksel karşılaştırma yöntemi, taşıma ve döndürme gibi işlemlerde de eksiktir. Talep edilen görüntüye uygun ama farklı bir açıyla görüntülenmiş bir görsel materyal sorgu sonuçları arasında yer alamaz. Renk değişimleri ve benzeri görsel durumlardaki farklılıklar, piksel değerlerini büyük ölçüde etkilediğinden yanlış sorgu sonuçlarına neden olurlar.

Tüm bu sebeplerden dolayı, görsel içeriğin kullanıcı yargısına kıyasla basit fakat etkili benzerlik ölçümlerine olanak tanıyacak şekilde temsil edilmesi ve sistemi daha etkin kılacak şekilde sistemde yer alması gerekir. Bunun için görsel nesne özellikleri vektör uzayı içindeki vektörlere dönüştürülür.

İçerik tabanlı görüntü erişim sistemlerinin insan algısına mümkün olduğu kadar yakın sistemler olması için çalışılmaktadır. İnsanın algı sisteminden yola çıkılarak görüntü erişiminde niteliksel (yüksek seviyeli) ve niceliksel (düşük seviyeli) öznitelikler olmak üzere iki tür öznitelikten bahsedilebilir [18].

Yüksek seviyeli öznitelikler, insanlar ve insanlar ya da makineler ve insanlar arasında şimdilik tam olarak çözölemeyen anlamsal uçurum (semantic gap) nedeniyle günümüzdeki görüntü erişim sistemlerinde fazla kullanılmamaktadır. Bu uçurumun oluşmasında insanların görsel bilgi içeren bir yapıyı birbirlerinden farklı algılayabilecekleri ya da tanımlayabilecekleri gerçeği etkilidir.

Görsel bilgi erişiminde düşük seviyeli öznitelikler genel olarak renk, doku ve şekil olarak tanımlanır. Bu kısımda bu özniteliklerden bahsedilecek ve yoğun olarak “doku” özniteliği üzerinde durulacaktır.

3.3.1. Renk Öznitelikleri

Bir resmi tanımlamanın en yaygın özelliklerinden birisi renk histogramlarının kullanılmasıdır. Renk, özellikle bir resmin genel özelliklerini yansıtması ve içerisindeki nesnelerin tanımlanabilmesi için son derece güçlü bir özelliktir. Renk bilgileri kullanılmadan resim içerisindeki renk sayısının düşürülmesi gerekir. Literatürde çeşitli renk düşürme algoritmaları önerilmiştir. Görüntü işleme alanında RGB, YIQ ve HSI gibi renk modelleri vardır. RGB modelinde, bir renk her biri üç temel renk olan kırmızı, yeşil ve mavi olmak üzere birbirinden bağımsız üç eksen üzerinde gösterilir. YIQ renk modeli standart televizyon yayınlarında kullanılan modeldir. Bu modelde Y luminance (aydınlanma), I ve Q sırasıyla, iki kromatik bileşen olan inphase ve quadrature’u temsil ederler. HSI modeli ise modeller arasında renkli resimleri manipule etmek için kullanılır. H

(hue) saf rengi temsil eden renk özelliğidir. S(saturation) ise beyaz ışık tarafından ne kadar sulandırıldığıнын ölçüsüdür. I(intensity) bileşeni ise resimdeki renk bilgisinin oranıdır [12]. HSI modelinde RGB modeline göreceli olarak Normalize edilmiş r(red), g(green), b(blue) değerleri şöyle tanımlanır:

$$r = \frac{R}{(R + G + B)} \quad (3.2)$$

$$g = \frac{G}{(R + G + B)} \quad (3.3)$$

$$b = \frac{B}{(R + G + B)} \quad (3.4)$$

HSI modelinin Intensity (güç) bileşeni ise şöyle tanımlanır:

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B), \quad (3.5)$$

Aynı zamanda R,G,B değerlerinden H ve S de elde edilebilir.

$$H = \cos^{-1} \left(\frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - G)(G - B)]^{\frac{1}{2}}} \right), \quad S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)] \quad (3.6)$$

Ton (hue) ve koyuluk (saturation) renk özneliğini tanımlayan iki değişken olarak karşımıza çıkmaktadır. Ton renklerin birlikte sergiledikleri görüntüyü, koyuluk ise ton

içerisindeki saf renge ne kadar gri eklendiğini gösteren değişkendir. Yine görüntü erişiminde renk histogramları, renk momentleri ve renk kümeleri kullanılarak da benzerlik ölçümleri yapılabilir.

Histogram, sayısal bir resim içerisinde her renk değerinden kaç adet olduğunu gösteren grafikdir. Bu grafiğe bakılarak resmin parlaklık durumu ya da tonları hakkında bilgi sahibi olunabilir. Histogram eşitleme ise renk değerleri düzgün dağılımlı olmayan resimler için uygun bir görüntü iyileştirme metodudur. Resmin tümüne uygulanabileceği gibi sadece belli bir bölgesine de uygulanabilir. Tüm resme uygulanırsa global histogram eşitleme, resmin belli bir bölgesine uygulandığında ise lokal histogram eşitleme adını alır [28].

Bu yöntem histogramı dar olan resimler ya da resim içindeki bölgeler için daha iyi sonuç verir.

Uygulanışı ise aşağıda anlatıldığı gibidir;

- Resmin histogramı bulunur.
- Histogramdan yararlanılarak kümülatif histogram bulunur. Kümülatif histogram, histogramın her değerinin kendisinden öncekiler ve kendisinin toplamı ile elde edilen değerleri içeren grafikdir.
- Kümülatif histogram değerleri yeni resimde olmasını istediğimiz maksimum renk değerleri ile çarpılıp resimdeki toplam nokta sayısına bölünerek normalize edilir.
- Normalize olmuş histogram değerleri ile resmin renk değerlerini tekrar güncellersek o resme histogram eşitleme metodunu uygulamış oluruz. Aşağıda histogram eşitleme öncesi ve sonrası resimlerle bunların histogramlarının nasıl değiştiği görülmektedir.



Şekil 3.1. Cezanne' a ait bir tablo ve renk histogramı

İçerik tabanlı görüntü erişim çalışmaları ile literatürde önemli bir yere sahip olan Gupta ve Jain 1997 de yaptıkları bir video erişim sistemi çalışmasında Cezanne' a ait bir tablo ve o tabloya ait renk histogramı görülmektedir [27].

3.3.2. Şekil Özellikleri

Şekil, görsel nesnenin bölgesel ya da sınırsal alanını belirleyen yapıdır. Doku istatistiksel çerçeveyi belirlerken, şekil anlamsal çerçeveyi temsil eder. Her iki özellik de döndürme, ölçeklendirme gibi geometrik değişimlere karşı değişmez yapı sergilemektedir.

Örüntü algılama alanında nesnelerin şekillerinin gösterimi önemli bir araştırma konusudur. Şekiller çoklu ortam erişimlerinde kullanılan bir diğer özelliktir. Örneğin, tıbbi resim arşivlerinde şekil gösterimi, renk ve dokuları aynı olan resimlerin ayırt edilmesinde son derece önemli bir özelliktir. Ama şekil benzerliklerine göre erişimde, belirli uygulamalarda benzerliğin anlamı farklı olarak yorumlanabilmektedir. Şekil özellikleri Chain Kodlaması [Freeman ve Davis], Fourier tanımlayıcısı [Person ve Fu], değişken moment [Zakaria ve diğerleri], oto-regresif modeller [Dubois ve Glanz], polar signatures [Lie ve Chen] ve syntactic yaklaşımlar [Chen ve Su] kullanılarak temsil edilebilirler [12].

Chain kodları birbirine bağlı belirli uzunluk ve yöndeki doğrular halinde şekillerin sınırlarının belirlenmesidir. Yüksek frekanslı bileşenlerin katsayısı ihmal edildiğinde iki

boyutlu şekil sınırları birkaç Fourier tanımlayıcısı ile gösterilebilirler. Momentler ise şekil özelliklerinin boyutlarının düşürülmesi için kullanılabilirler. Örneğin iki boyutlu şekil sınırları momentlerin kullanımı ile tek boyutlu fonksiyonlar olarak gösterilebilirler. Çoğunlukla kullanılan bir diğer yöntem ise çeşitli duyarlıklarda, şekilleri poligon olarak temsil etmektir.

3.3.3. Konumsal Özellikler

Konumsal özellikler bir resmin içerisindeki nesneler arasındaki yön ilişkisi, yapışıklık, çakışma veya birden çok alt nesneyi içerme gibi konumsal ilişkileri gösterir. Konumsal özellikler yaygın olarak kavramsal modeller ile de temsil edilirler. Bunun yanı sıra konumsal özelliklerin vektörel, dizi ve ağaç veri yapıları ile temsil edilmesi mümkündür.

Konumsal özellikler genellikle Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kullanılırlar ve üç farklı kategoride incelenirler.

- **Topolojik İlişkiler:** Bitişik, içerisinde, ayrıklık temel olarak karşılaşılabilecek konumsal ilişkilere örnek olarak verilebilir.
- **Yön İlişkileri:** yukarıda, aşağıda, kuzeyinde, güneyinde, kuzey-batısında gibi ilişkililerdir. Topolojik ilişkiler bir coğrafi bilgi sistemi uygulamasında, enlem ve boylam olarak tanımlanırlar. Çoklu ortam erişimlerinde ise farklı şekillerde temsil edilirler.
- **Metrik İlişkiler:** Tipik bir coğrafi bilgi sistemi sorgusu şu şekilde ifade edilebilir : ”verilen referans noktasına 100 birim uzaklıktaki nesneleri bul”. Bu örnekteki metrik ilişkisi, nesneler arasındaki fiziksel uzaklıktır. Çoklu ortam uygulamalarında ise metrik ilişkiler kabaca benzerlik ilişkisi olarak adlandırılabilirler. Örneğin, verilen örnek resme benzerlikleri verilen bir eşik değerinden daha çok benzeyen nesnelerin bulunması gibi.

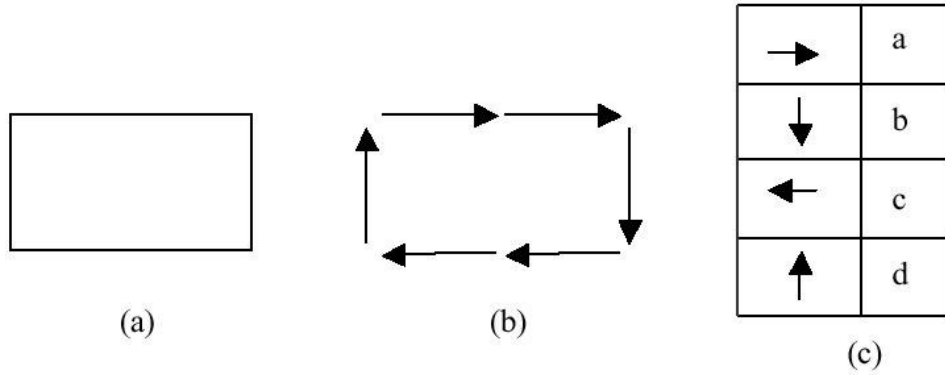
Özelliklerin gösterilmesi şu şekilde olur;

Bir resim içerisinde aranan nesnelerin sayılabilir ve yapısal tanımlamaları genellikle örüntü olarak adlandırılır. Genel olarak bir örüntü renk, doku, şekil gibi bir veya daha çok özellik ile tanımlanabilir. Pratikte örüntüler vektör, dizi veya ağaç yapısı ile temsil edilebilirler. Örnek olarak bir örüntü vektörü şöyle gösterilebilir:

$$X=(X_0, \dots, X_{n-1})$$

X 'in her bir bileşeni, X_i , $i+1$ 'inci özelliği temsil eder ve n ise bunun bir toplam özellik sayısını gösterir. X örüntü vektörünün temel bileşenlerinin içerikleri ise, örüntünün fiziksel tanımlanmasında kullanılan ölçüm yöntemine bağlıdır. Örneğin, bir resimde her bir piksel için 24 bit ayrılmış olduğu varsayılırsa, RGB renk modelinde R, G ve B bileşeni için 8 bit ayrılmış olacaktır. Dolayısıyla her renk bileşeni 0-255 aralığında değerler alırlar. Böylelikle, $X=(R_{ort}, G_{ort}, B_{ort})$ bir resmin ortalama renk dağılımını temsil eder. Burada R_{ort} , G_{ort} , B_{ort} değerleri n pikselinin ortalama değerlerini temsil etmektedir [12].

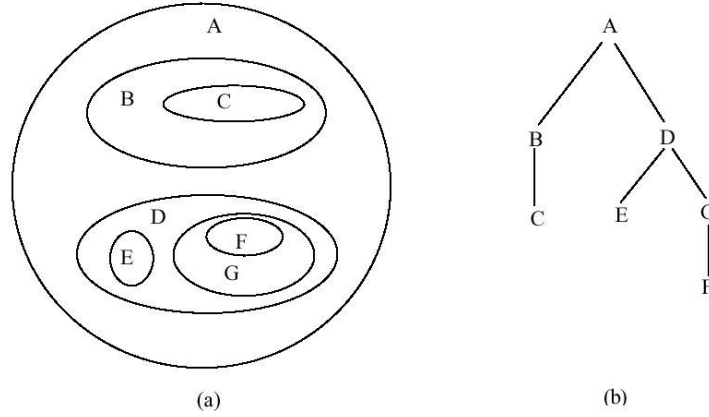
Dizi gösterimi ise yapıları basit bağlantılara dayanan bir resimdeki nesnelerin örüntülerinin gösterimi için uygundur. Örneğin aşağıdaki şekil temel alfabe ile a,b,c,d olarak tanımlandığında şekil temel alfabe kullanılarak tek boyutlu dizi olarak şu şekilde gösterilebilir, $w=aabccd$.



Şekil 3.2. Bir şeklin temel alfabe kodlaması

(a) örnek şekil, (b) örnek şeklin gösterimi, (c) temel alfabe

Bir diğer güçlü yöntem ise ayrık yapıların da gösterimine izin veren ağaç yapısıdır. Bu durumda bir ağacın düğümleri iki tipte bilgi içerir. Birincisi örüntünün fiziksel formunu tanımlarken, ikincisi ise bu yapının diğer alt-yapılar ile olan ilişkilerini gösterir.



Şekil 3.3. Bir resim içerisindeki bölgeler ve ayrıştırması

3.3.4. Doku Özellikleri

Doku öznitelikleri görsel nesne üzerindeki parlaklığın dağılımı ile ilgilidir ve tüm görsel yüzeylerin doğal özneliliğidir. Yüzeylerin yapısal düzeni ve çevreyle olan ilişkisi hakkında önemli bilgiler içerir.

Doku, görüntü işleme ve örüntü algılama alanında derinlemesine incelenmiş ve farklı resimleri ayırt etme ve tanımlama yeteneklerinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle çoklu ortam erişiminde kullanılan etkin özelliklerden birisi de dokudur. Dokular sadece resim yüzeyleri değil aynı zamanda hareketlerin algılanmasında da kullanılmışlardır. Her ne kadar dokuyu tanımlamak için formal bir yapı mevcut değilse de, tek düzelik (uninformity), kabalık (roughness), düzenlilik (regularity), yön (direction), frekans ve benzeri kavramlar dokusal özellikleri yansıtan ölçekler olarak kullanılmışlardır.

Görüntü işleme alanında herhangi bir resim bölgesindeki dokuların tanımlanması sürecinde değişik yöntemler önerilmektedir. Doku özelliğini çıkarmak için en yaygın yöntem çeşitli masklar veya filtreler tasarlanarak doku resmini karakterize edebilecek doku spektrumunun elde edilmesi yöntemidir. Bir resmin yüksek enerjilerinin tanımlanmasıyla bir resimdeki global genel tekrarları (periodicity) yakalamak için Fourier güç spektrumundan özellikler çıkartılmasına dayalı çalışmalar da yapılmıştır. Yine geçmişte yapılan bazı çalışmalarda dokuyu temsil etmek için konumsal gri ton bağımlılık matrisleri

kullanılmıştır. Rastgele saha ve Markov modelleri dokuların sınıflandırılması ve parçalanması için önerilen yöntemler arasındadır [12].

Her ne kadar görüntü işlemede günümüze kadar çok sayıda yöntem önerilmiş olsa da, bunların birçoğunun çoklu ortam veri tabanlarında kullanımları gerek hesaplama karmaşıklıkları ve gerekse uçuk varsayımlarından dolayı uygun görülmemektedir.

QBIC projesinde, resimlerin dokularını yansıtabilmek için kabalık (coarseness), yön (directionality) ve zıtlık (contrast) kullanılmıştır.

4. DOKU VE DOKU ANALİZİ

4.1. Giriş

Renk ve dokunun önemli rol oynadığı birçok görüntü işleme alanı vardır. En önemli alanlar sınıflandırma, görüntü bölütlemesi, görüntü kodlama ve bilgisayar grafikleridir. Dokuların sınıflandırılması ve genelde de gerçek dokuların sınıflandırılması medikal görüntü işlemede ve işlem kontrolünde sıkça rastlanan bir sorundur. Bazı tipik uygulamalar şunlardır: mikroskobik görüntülerde doku tanımlama, kereste, mermer vb. sanayi üretimlerinde kalite kontrolü, pano çizgisi ve duvar kağıdı ya da aramaların sınıflandırılması ve uzaktan algılama görüntüsü. Görüntü bölütlemesi, sınıflandırma problemiyle alakalı bir durumdur; şekil, ton ya da renk gibi diğer öznitelikler alanları ayırt etmek için yeterli olmaz, görüntü bölütlemesinin bir kriteri de doku olabilir.

Görüntü kodlamada, bilgiyi muhafaza ederken görüntü sıkıştırılır. Son zamanlarda bir görüntüdeki dokuyu tanımlayarak ve görüntü yerine sembolik bir gösterim kullanarak sıkıştırma oranını artırmaya yönelik girişimlerde bulunulmuştur. Diğer doku yaklaşımlarından biri de bilgisayar grafikleridir. Dokular, doğal görünümü taklit etmek için kullanılır. Şimdi sorun, tersine dönmüştür. Doğal bir dokunun nasıl oluşturulabileceği üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Dokuları sentezlemek için gösterilen çaba doku tanımlamasını da etkilemiştir. Doku modellerine dayalı bazı doku tanımlama metodları geliştirilmiştir [29].

İki boyutlu görüntülerden üç boyutlu bilgi elde etmek için yürütülen araştırma da vardır. Bu bilgiye erişim yüzey yönelimlerini belirlemeye dayanır. Yüzeyler genelde dokuludur. Yüzey yönelimi, dokuyu ve doku izdüşümünü tanımlayarak belirlenir.

4.2. Dokunun Tanımları

Doku, sezgisel bir kavram olması sebebiyle yıllardır tanımlanması zor bir kavram olmuştur. 1973'de Haralick Shanmugan ve Dinstein dokunun kesin bir tanımının yapılmasının oldukça güç olduğunu kaydetmişlerdir. Birçok araştırmacı da aynı şeyi söylemiştir. Cross and Jain: 'doku için herkesçe kabul gören bir tanım mevcut değildir' demişlerdir. Bowik, Clarke and Geisler: 'dokunun eksiksiz bir tanımı, ister yüzey özelliği olarak ister görüntü özelliği olarak olsun, asla açık ve kesin bir şekilde

yapılamamıştır.’ şeklinde görüş bildirmişlerdir. Jain ve Karu ise :’ doku, resmi bir tanımdan kaçınır.’ olarak belirtmişlerdir [29,6,30,31,32,33,34].

Herkesin uzlaştığı bir tanım mevcut olmasa da bütün araştırmacılar iki noktada hemfikirler. Birincisi: birbirine yakın pikseller arasındaki yoğunluk düzeyinde önemli bir varyasyon vardır; yani çözülme sınırında homojenlik yoktur. İkincisi: doku görüntünün çözülmesinden daha büyük olan bazı konumsal genişliklerde homojen bir özelliktir. Haralick, bu iki noktayı yaptığı tanımla özetlemiştir:’dokunun ana özelliği, tonal ilkeler belirtilmeden asla analiz edilememesidir. Düz gri tondaki bir yüzey için yüzey incelendiği zaman öyle bir ölçü vardır ki bu yüzeyin hiç dokusu yoktur [29]. Yani çözülme arttıkça yüzey kaba dokudan ziyade ince bir doku halini alır.’

Bazı araştırmacılar dokuyu insan görme sistemine göre tanımlamışlardır. Dokunun benzer bir yoğunluğa sahip olmadığını ama buna karşın insan gözlemciler tarafından homojen alanlar olarak algılandığını iddia ederler. Örneğin, Bowik, Clarke ve Geisler:’görüntü dokusu, algısal olarak homojen bir parlaklığının yüzey yolundan yansımış görüntü parlaklığının yerel bir düzenlemesi olarak tanımlanabilir.’ şeklinde bir tanım yapmışlardır [29]. Ayrıca Chaudhuri, Sarkar ve Kundu da ‘doku alanları için farklı uzaklıklara göre ve farklı görsel dikkat derecesine göre değişik yorumlar yapılabilir. Standart bir uzaklıktan normal bir dikkatle incelendiğinde belirli bir dokunun özelliği olan makro-düzen kavramı düşünülebilir. Yakından ve dikkatli bir şekilde gözlendiğinde homojen alanlar, kenarlar, bazen de seçici görüntü doku hücreleri görülebilir.’ şeklinde belirtmişlerdir. Ancak, insanın duyarlılığına dayanan bir tanım, sayısal doku analiz algoritmalarında teorik bir ilke olarak kullanıldığında problem yaratabilir. Faugeras ve Pratt:’sayısal olarak var olmasına rağmen bir doku örneğinin temel örüntüsü ve tekrar sıklığı algısal olarak görülebilir’ demişlerdir [29].

Görüldüğü gibi doku, çelişkili bir kavramdır. Bir taraftan görsel bilginin ilk işleminde özellikle de pratik sınıflandırma amaçları için yaygın olarak kullanılır. Diğer taraftan hiç kimse çoğunluğun kabul ettiği bir tanım yapmayı başaramamıştır. Dokunun eksiksiz bir tanımını yapmak gerçekten çok zor bir iştir; yine de birçok uzman yıllar geçtikçe bunu başarmıştır. Haralick doku için şu tanımları yapar:’doku, ilkelerinin sayısı ve türleriyle ve de konumsal düzeniyle ya da ilkelerinin düzeniyle tanımlanabilir. Konumsal düzeni gelişmiş güzel olabilir, bir ilkelin diğer bir komşu ilkele olan ikili bağımlılığına sahip olabilir ya da bir seferde n ilkelerinin bir bağımlılığına sahip olabilir. Bağımlılık, yapısal, olasılıksal ya

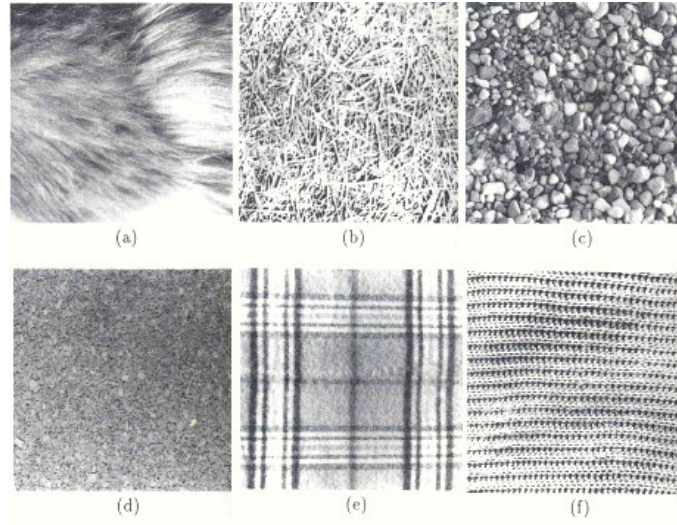
da işlevsel olabilir.’ Van Gool’un yaptığı tanım ise şudur:’doku, birçok sıralı benzer öğelerden ya da örüntülerden –ki bunların hiç biri özel olarak dikkat çekmez- oluşmuş bir yapı olarak tanımlanabilir. Böylelikle gözlemci için bir tek global izlenim sunulmuş olur. Örneğin, bir satranç tahtası gibi düzgün bir şekilde dizilmiş birbirinin aynısı olan örüntüleri düşünebiliriz. Böyle bir doku, kararlı bir dokudur. Bu doku, alt örüntülerden ya da ilkellerinden birinin özellikleriyle ve ilkellerinin konumsal dağılımını belirleyen yerleştirme kurallarıyla betimlenebilir. Ayrıca aklımızda sadece bazı istatistiksel kurallara uyan bir örüntü de olabilir. Sonunda oluşan yapı bir televizyon ekranındaki görüntüye benzeyebilir. Böyle bir dokunun olasılıksal olduğu söylenebilir. Ama şuna da dikkat edilmelidir ki, kararlı dokuların yoğunluklu olarak tekrarlamalarında düzenleri bozulabilir ve ilkellerinin benzer olması muhtemeldir ama asla aynı olamaz. Bu durumda doku, artık hayali bir yapı değil, gözlemlenebilir bir yapı olur. Aslında doku kararlı ile olasılıksal(stotastik) modelin arasındadır.’

Algılanan niteliklerini tanımlamak, doku için matematiksel modeller oluşturmaya doğru atılan ilk önemli adımdır. Dokunun ayırt edici özelliği olan bir görüntüdeki yoğunluk varyansları, genel olarak sahildeki çakıl taşları ya da sudaki dalgalar gibi görüntüdeki bazı temel fiziksel varyanslardan kaynaklanmaktadır. Bu fiziksel varyansların modelini yapmak çok zordur. Bu yüzden doku genelde görüntüde var olan yoğunluklarda iki boyutlu varyanslarla tanımlanır. Bu da dokunun kesin ve genel bir tanımının bilgisayar görüntüsü alanında mevcut olmadığı gerçeğini açıklar. Tereddütsüz bir şekilde iddia edebileceğimiz şey ise şudur: doku, boyutun dokunun türüne bağlı olduğu konumsal bir komşuluk alanındaki gri seviye değerlerinin bağlamsal bir özelliğidir. Yani, piksel alanlarının bir özelliğidir [34].

4.3. Dokunun Sınıflandırılması

Değişebilirliğinden dolayı insanlar genelde dokuyu ince, kaba, taneli, düzgünlük vb. sıfatlarla tanımlarlar ve bu da bilgisayarla tanımın mümkün olabilmesi için daha kesin özniteliklerin tanımlanması gerektiğini gösterir. Bu tür öznitelikler dokunun tonunda ve yapısında bulunabilir. Ton, daha çok ilkellerdeki piksel yoğunluk özelliklerine dayanır. Yapı ise ilkeller arasındaki konumsal ilişkidir. Bir dokunun ilkeli yani doku hücresi, tonal sveya bölgesel niteliğe sahip bir komşu pikseller dizisidir; ortalama yoğunluk, maksimum veya minimum yoğunluk, boyut, şekil vb. özelliklerle tanımlanır. Doku hücreleri çeşitli

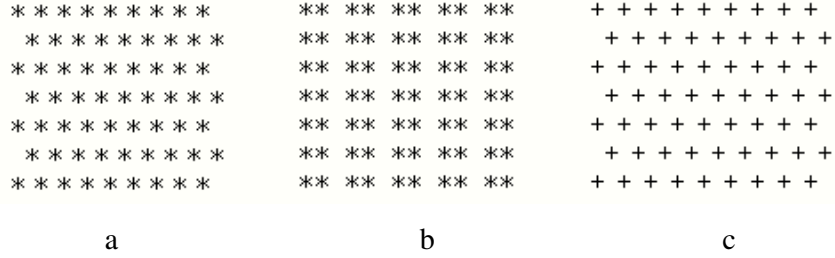
boyutlara ve çeşitli benzerlik derecelerine sahip olabilir, farklı yönlere yönlendirilmiş olabilir, farklı yönlerde değişen uzaklıklarda yerleştirilmiş olabilir, çeşitli büyüklükte olabilir, farklı zıtlık ve bulanıklık derecelerine de sahip olabilir. Bir doku hücresinin yerleşimi periyodik, yarı periyodik ya da gelişigüzel olabilir. Doğal dokuların genelde doku hücreleri rastgele olur. Yapay dokular ise kararlı ya da periyodik doku hücrelerine sahiptir. Bir örnekle incelenecek olursa;



Şekil 4.1. Doku örnekleri
(a)Köpek postu, (b)Çim, (c)Dere çakılı,(d)Mantar,(e)Kareli kumaş,(f)Örgülü kumaş

Köpek postu ve çimdeki ilkeller çok sayıda piksel ile gösterilir ve bir çöp ya da ince bir tüye karşılık gelir; mantar boyut olarak piksellere benzer ilkellerden oluşmuştur. Fakat en az iki hiyerarşik düzeyde tanımlanabilen kareli kumaş ve örgü için ilkelleri tanımlamak çok zordur. Birinci düzey ilkeller kumaşın karelerine ya da örgülü kumaşa karşılık gelir; ikincisi, kumaşın ince dokusuna ya da tek tek dikişlere denk gelir.

Global bir tanım olarak görüntü dokusu, ilkellerin sayı ve türleriyle ve de konumsal ilişkileriyle tanımlanabilir. Ama bu, bütün dokular için en uygun ayrıklaştırma oranına sahip olduğumuz anlamına gelmemektedir. Şekil a ve b, aynı sayıda ve türde ilkellerin illa aynı dokuyu vermek zorunda olmadığını gösterir.



Şekil 4.2. Yapay dokular

Aynı şekilde, Şekil 4.2.a ve 4.2.c aynı konumsal ilişkilerin dokunun benzersizliğini garantilemediğini göstermiştir ve bu yüzden de dokunun tanımı için yeterli değildir.

Doku tonu ve yapısı bağımsız değildir; çoğunlukla biri diğerine baskın olsa da dokular hem tonu hem de yapıyı gösterirler ve biz genelde sadece birinden söz ederiz. Ton, ilkelerin konumsal ilişkilerini de göz önünde bulundurarak ilkelerin tonal özellikleri olarak anlaşılabilir. Yapı da tonal özellikleri göz önüne alarak ilkelerin konumsal ilişkileriyle ilgilidir. Eğer görüntüdeki dokunun ilkeleri küçükse ve komşu öğeler arasındaki tonal farklar büyükse şekil 4.1.d’ de olduğu gibi ince bir doku oluşur. Eğer dokunun ilkeleri daha büyükse ve çok sayıda pikselden oluşuyorsa kaba bir doku ortaya çıkar (örnek: şekil 4.1.c). Şuna dikkat edilmelidir: ince/kaba dokunun özelliği ölçüsüne bağlıdır. Ayrıca dokular, daha sonra dokuyu tanımlama metodunu da etkileyecek olan dayanıklılıklarına göre de sınıflandırılabilir.

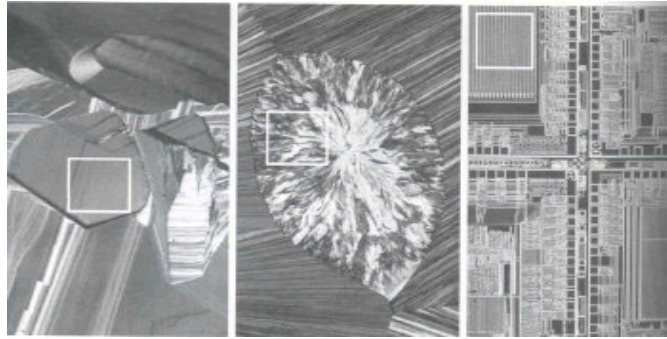
Zayıf dokuların ilkeleri arasında kısa konumsal ilişkiler vardır. Zayıf dokular, bazı komşularda görülen ilkelerin türlerinin frekanslarıyla gerektiği gibi tanımlanabilir. Bundan dolayı birçok istatistiksel doku özellikleri zayıf dokuların tanımı içinde değerlendirilir. Dayanıklı dokularda ise ilkeler arasındaki konumsal ilişkiler kısmen düzenlidir. Dayanıklı dokuları tanımlamak için bazı konumsal ilişkilerde ilkel çiftlerinin meydana gelme sıklığı yeterli olabilir. Dayanıklı dokunun tanımının yanında, aynı zamanda ilkelerin ve konumsal ilişkilerinin de tam bir tanımı yapılır.

Eğer görüntü alanındaki bir dizi yerel özellik, sabit, yavaş yavaş değişen ya da aşağı yukarı periyodik ise o zaman görüntü alanı sabit bir dokuya sahiptir. Bu yerel özellikler dizisi ilkelerin türleri ve onların konumsal ilişkileri olarak anlaşılabilir. Tanımın önemli bir kısmı da şudur: bu özelliklerin sabit doku alanı içinde tekrar edilmesi gerekir. Bu özelliklerin kaç kez tekrar etmesi gerektiğinin bir standart sayısı yoktur. Büyük bir sabit

doku alanı olduğunu farz edin ve dokunun karakteri değişmediği sürece dokuyu sürekli ayırıştırarak sayısallaştırıp bu dokunun giderek daha küçük parçalarını düşünelim. Buna alternatif olarak, ayrıntılar bulanıklaşana kadar ve sonunda ilkeller görünmez olana kadar sürekli olarak dokuyu gözden geçirip sayısallaştırarak dokunun giderek daha büyük parçalarını düşünelim. Görüntünün çözülmesi, dokunun tarifine uygun bir bölümdür. Eğer görüntünün çözülmesi uygun bir şekilde olursa dokunun karakteri penceremizde herhangi bir pozisyonda da değişmez, sabit dokuları elde ederiz.

Doku ile ilgili yapılan birçok araştırma, yukarıda anlatılan dokunun oluşum süreciyle ilgili yapılan tahminlerle karakterize edilebilir. Dokunun tanımı için iki temel yaklaşım vardır: istatistiksel (olasılıksal) ve yapısal (sözdizimsel). Yapılan tahminler arasından tercih yapmak temel olarak dokunun türüne bağlıdır.

Olasılıksal metotlar, dokuyu düzgün, kaba, pürüzlü vb şekilde nitelendirir ve eğer dokunun ilkelleri boyut olarak piksel boyutlarına uygunsa bu metotların kullanımında sakınca yoktur. Kum, su, çim gibi doğadaki rastgele dokular olasılıksal nitelendirmeye uygun dokulardır. Dokunun yapısal yerleştirme paradigmasının düzensiz bir yönü de vardır; olasılıksal bakış açısına göre ise daha kesin bir pozisyona sahibizdir ve dokuyu televizyon ekranındaki bir gürültü gibi görüntünün alanı üzerindeki olasılık dağılımından bir örnek olarak düşünürüz. Görüntü alanı genelde $N \times N$ grididir ve her grid noktasının değeri $\{0,1,\dots,G-1\}$ dizisi içinde düzensiz bir değişkendir.



Şekil 4.3. Düzgün, kaba, düzenli dokular

Sözdizimsel (yapısal) metotlar, ilkelerin türünün sadece tonal özellikler kullanmak yerine şekil, boyut gibi daha çok değişik özellik kullanarak da tanımlanabildiği yerlerde daha çok uygundur. Sözdizimsel doku tanım modelleri, dokunun yalnızca hemen hemen

düzenli ilişkiler içinde yerleşmiş olan ilkellerden oluştuğu fikrine dayanır. Örnek olarak dama tahtası gibi düzenli bir şekilde sıralanmış aynı küçük örüntülerden oluşmuş bir dizi düşünebiliriz. Küçük desenler çember, altıgen ya da bir nokta gibi kararlı şekillerden oluşabilirler. Makro dokular daha geniş temel ögelere sahipken mikro dokular küçük ilkellerden oluşur. Bu terimler yine görüntü çözümlenmesi ile alakalıdır.

Diğer taraftan gerçek dünyadaki dokular genellikle yapısal hataların, çarpıklıkların hatta yapısal farklılıkların sık sık görüldüğü düzensiz dokulardır. Bu da demek oluyor ki gerçekte bir dokuyu tanımlayabilmek için kesin ve değişmez bir kural yoktur. Gerçek dokuların sözdizimsel tanımlarını yapmak için değişken kuralların da kullanılması zorunludur. Yine de, doku tanımlamada sözdizimsel metotlar, sözdizimsel çözümleyici bilgisi ve karmaşık dilbilgisi çıkarımıyla birlikte beraberinde birçok zorluk getirmiştir. Bu nedenden dolayı sözdizimsel metotların kullanımı yaygın değildir. Diğer taraftan ilkelin tanımını yapmanın birçok avantajı da vardır ve bu metodu kullanmaktan tamamen vazgeçmek akıllıca olmaz. Doku tanımlamada kullanılan Hibrid metotlar ise sözdizimsel ve olasılıksal yaklaşımı birleştirir. Bu teknik, ilkeller arasındaki olasılık ilişkileri ve kararlı ilkelleri ön planda tutar.

Aşağıdaki tabloda dokusal sınıflandırma çalışmalarında kullanılabilecek yöntemler verilmiştir. Dokunun tanımındaki temel farklılıklar göz önüne alınarak bu tablodaki sınıflandırma şemasının değişken olduğu söylenebilir [2,30,33].

Tezde temel olarak kullanılan yaklaşım istatistiksel yaklaşımdır.

Tablo 4.1. Doku analiz metotlarının sınıflandırması

DOKUNUN SINIFLANDIRILMASI

<u>Yapısal Yaklaşım</u>	<u>İstatistiksel Yaklaşım</u>	<u>Hybrid yaklaşımı</u>
Dilbilgisi Kuralları	Uzaysal Alan Metotları	Textonlar
Periyodik Doku Gramerleri	Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi	
Düzensiz Doku Gramerleri	Gri Seviye Dizi Uzunluğu Matrisi	
	Gri Seviye Varyans Matrisi	
	Gri Seviye Aralık Uzunluğu Matrisi	
	Komşu Gri Seviye Bağımlılığı	
	Laws Doku Enerjisi	
	Sinyal İşlem Metodu	
	2D Gabor Filtreleri	
	Dalgacık Dönüşümleri	
	Otokorelasyon Öznitelikleri	
	Fourier Öznitelikleri	
	Model Tabanlı Yöntemler	
	Markov Rastgele Alanları	
	Fraktallar	

Bu tez çalışmasında yukarıda verilen [29] doku sınıflandırma yöntemlerinden şunlar kullanılmıştır: Uzaysal Alan Metotlarından Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi, Gri Seviye Dizi Uzunluk Matrisi, ve Sinyal İşleme Metotlarından Dalgacık Dönüşümü ve Gabor yöntemleridir. Tez çalışması uygulamalarında yukarıdaki birçok yöntem denenmiş ve çalışılmıştır. Ancak uygulama ve sonuç kısmında istatistiksel olarak sonuçları yansıtılacak olanları yukarıda sayılan dört yöntemdir.

5. İSTATİSTİKSEL DOKU ANALİZİ

5.1. Giriş

İstatistiksel yaklaşımlar, dokuyu bir alandaki yoğunluk dizilişinin nicel bir ölçüsü olarak tanımlar. Her doku, çok boyutlu öznitelik alanında bir noktayı gösteren özelliklerin öznitelik vektörü ile betimlenir. İstatistiksel yaklaşımlar, konumsal alan metotlarını, sinyal işleme metotlarını ve model tabanlı metotları kapsar.

Konumsal alan metotlarında öznitelikler, özellikle ikinci sıra istatistiklerden elde edilir, çünkü insanlar ikinci sıradaki istatistiklere karşı daha duyarlıdır. Bu tür istatistiklerin örnekleri, gri seviye eş oluşum matrisi ve gri seviye varyans matrisidir. Gri seviye dizi uzunluğu, Fourier güç spektrumu ve otokorelasyon işlevi gibi daha yüksek düzeydeki istatistikler de ölçülebilir [29,35].

Gabor filtresi ve Dalgacık dönüşümleri gibi frekans tabanlı metotlar görsel sistemi model alırlar ve görüntüleri, çok sayıda bant geçiren filtreli görüntülere böler. Bu filtreli görüntülerin her biri, belli dokusal özelliklere benzeyecek olan bir dizi frekans(boyut) ve yönelimin üzerinde yoğunluk varyasyonları içerirler. Yapılan psikolojik deneyler, konumsal-frekans alan özniteliklerine dayanan metotların insan görme sistemine uygun olduğunu göstermiştir. Son yıllarda Dalgacık teorisinin gelişimiyle birlikte bu metoda karşı özel bir ilgi oluşmuştur. Dokulu görüntülerin sınıflandırılmasında ve bölünmesinde Dalgacık dönüşümüne ve gabor filtresine dayanan çok sayıda algoritma önerilmiştir [29,31,35].

Model tabanlı doku analizleri, önceden tanımlanmış modellerin parametrelerini belirleyerek dokuyu oluşturan işlemi yakalamaya çalışır. Model tabanlı metotlar, dokulu görüntüleri görüntü alanı üzerinde parametrik olasılık dağılımlarından elde edilmiş örnekler olarak kabul eder ve eşzamanlı öz bağılanımsal modelleri, Markov rastgele alan modelleri ve fraktal modelleri dokulu görüntülere uydurmaya çalışır. Sınıflandırma ve bölütleme ile ilgili sorunlarda model parametreler öznitelik olarak kullanılır. Bu modelin diğer istatistiksel modellerden ayrılan avantajlı yönü, model parametrelerinin sadece dokuyu tanımlamak için değil aynı zamanda dokuyu sentezlemek için de kullanılabilir olmasıdır [29].

Parametreler dokulu görüntülerin sınıflandırılmasında, bölütlenmesinde ve sıkıştırılmasında kullanılmaktadırlar.

5.2. Histogram İstatistikleri

Dokuyu tanımlayan en basit yaklaşımlardan biri de bir alanın ya da görüntünün gri seviye histogramlarının istatistiksel momentlerini kullanmaktır. Z, gri seviyeleri belirten gelişi güzel bir değişken olsun, $p(z_i)$, $i= 0,1,2,\dots, L-1$ karşılık gelen histogram olsun ve bu histogramda L farklı gri seviyelerin sayısı olsun. Z'nin n. momentinin ortalaması:

$$\mu_n(z) = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^n p(z_i) \quad (5.1)$$

m'nin, z'nin ortalama değeri olduğu ortalama gri seviye:

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i) \quad (5.2)$$

5.1. ve 5.2'deki $\mu_0=1$ ve $\mu_1=0$ denkleminde dikkat edelim. İkinci moment yani $\sigma^2(z)=\mu_2(z)$ varyansı, dokunun tanımı için özel bir öneme sahiptir. Göreceli düzgünlük tanımlayıcıları oluşturmak için kullanılabilen gri seviye ölçüsüdür. Örneğin;

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2(z)} \quad (5.3)$$

Bu ölçü, sabit yoğunluk alanları için 0'dır, burada varyans sıfırdır ve $\sigma^2(z)$ 'nin büyük değerleri için yaklaşımlar 1'dir. Varyans değerleri gri tonlu görüntüler için büyük olma eğiliminde olduğundan dolayı varyansı, [0 1] aralığında normalize etmek daha uygun olacaktır. Standart sapma $\sigma(z)$ de doku ölçümünde sık sık kullanılır çünkü standart sapmanın değerleri birçok kişiye göre daha sezgisel olma eğilimindedir.

Üçüncü moment ;

$$\mu_3(z) = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^3 p(z_i) \quad (5.4)$$

histogramın eğrilik ölçüsüdür. Dördüncü moment ise göreceli yassılık ölçüsüdür. Beşinci ve daha yüksek momentleri histogramlarla ilişkilendirmek kolay değildir ama onlar da doku içeriğini ayırt etmek için daha fazla nicel sonuçlar sağlar [29].

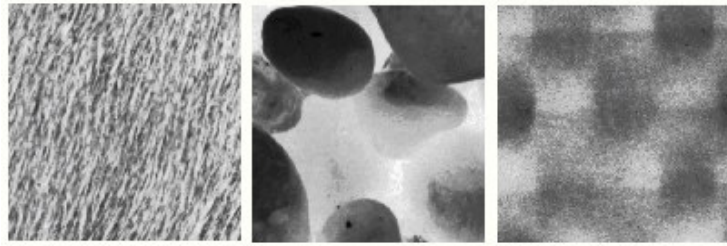
Ayrıca histogramlara dayalı bazı faydalı doku ölçümleri, ‘benzerlik’ ölçüsünü de kapsar. Bu ölçü şu şekilde belirlenir:

$$U = \sum_{i=0}^{L-1} p^2(z_i) \quad (5.5)$$

Ve ortalama entropi ölçüsü şu şekilde tanımlanır:

$$e = - \sum_{i=0}^{L-1} p(z_i) \log_2 p(z_i) \quad (5.6)$$

p ’ler $[0,1]$ dizisi içinde değerlere sahip olduğundan ve toplamaları 1’e eşit olduğundan U ölçüsü, bütün gri seviyelerin eşit olduğu, en fazla benzer olduğu bir görüntü için maksimumdur. Entropi, bir değişkenlik ölçüsüdür, sabit bir görüntü için 0’dır.[29]



Şekil 5.1. Brodatz veri tabanından doku örnekleri

Tablo 5.1. Histogram istatistikleri

Doku	Ortalama	S.Sapma	R (normalize edilmiş)	3.Moment	Benzerlik	Entropi
Düz	60.4	9.8	0.01	-0.01	0.035	4.7
Kalın	136.7	67.9	0.07	0.10	0.010	8.1
Düzenli	85.5	40.2	0.03	0.22	0.027	5.9

Tablo 5.1, şekil 5.1’de belirtilmiş üç tür doku için de önceki ölçümlerin değerlerini göstermektedir. Ortalama değer, bize her bölgenin ortalama gri seviyesini belirtir ve sadece yoğunluk hakkında kabaca bir fikir verdiği için yararlıdır, doku konusunda pek işe yaramaz. Standart sapma daha bilgi vericidir; rakamlar açıkça birinci dokunun, gri seviyesinde daha az değişkenliğe sahip olduğunu, diğer iki dokudan daha düzgün olduğunu göstermiştir. Kaba doku bu ölçümde açıkça ortaya çıkar. Bu yorumlar R için de geçerlidir çünkü R de temelde standart sapmayla aynı şeyi ölçer. Üçüncü moment genellikle histogramların simetrik değerlerini ve negatif değer olan sola mı yoksa pozitif değer olan sağa mı kaydırıldığını belirlemek için kullanılır.

Bu, gri seviyelerin ortalamalarının karanlık tarafına mı yoksa açık tarafına mı eğilimli oldukları konusunda kabaca bir fikir vermektedir. Doku açısından üçüncü momentten elde edilen bilgi sadece varyanslar arasındaki ölçüler büyük olduğunda işe yarar. Benzerlik ölçüsüne baktığımızda yine ilk alt görüntünün daha düzgün, en geliş güzel, en az benzerliğin kaba dokuya denk geldiğini görüyoruz. Son olarak, entropi değerleri karşı sıradadır ve böylece bizi benzerlik ölçüsünün yaptığı gibi aynı sonuca götürür. Birinci alt görüntü, gri seviyede en düşük varyasyona sahiptir ve kaba görüntü ise en fazla varyasyona sahiptir. Düzenli doku bu ikisinin arasındadır.

Dokunun moment öznitelikleriyle çalışmanın bir yolu daha vardır: konumsal momentler;

R görüntü alanı üzerindeki $(p+q)$. momentleri, $I(x,y)$ ’nin iki boyutlu tamsayı dizisi, yani görüntü matrisi olduğu

$$m_{pq} = \sum_{(x,y) \in R} x^p y^q I(x,y) \quad (5.7)$$

formülüyle verilir. Eğer, R alanı yerel dikdörtgensel bir alan ise ve momentler görüntüdeki her pikselin etrafında hesaplanırsa o zaman bu bir dizi konumsal maske ile görüntüyü filtrelemeye eş değerdir. Sonuçta ortaya çıkan ve momentlere karşılık gelen filtreli görüntüler daha sonra doku öznitelikleri olarak kullanılır. Maskeler, $W \times W$ boyutundaki bir pencere ve bu pencerenin ortasında bulunan yerel bir koordinat sistemi belirlenerek elde edilir. (i,j) , momentlerin hesaplandığı görüntü koordinatları olmak üzere (i,j)

koordinatlarının ortasında bulunan $W \times W$ penceresine düşen (m,n) piksel koordinatları için, normalize edilmiş (x_m, y_n) koordinatları şu formülle verilir:

$$x_m = \frac{(m-i)}{(W/2)} \quad y_n = \frac{(n-j)}{(W/2)} \quad (5.8)$$

Daha sonra (i,j) pikselinin ortasında bulunan penceredeki momentler normalize edilmiş koordinatları kullanan 5.7. denklemindeki toplama göre hesaplanır:

$$m_{pq} = \sum_{n=-W/2}^{W/2} \sum_{m=-W/2}^{W/2} x_m^p y_n^q I(m,n) \quad (5.9)$$

Toplamı değerlendirmek için kullanılan penceredeki her piksel katsayısı, mask katsayılarını belirleyen sayılardır. Eğer R , 3×3 alanı ise o zaman sonuçta oluşan masklar şekil 5.2’de olduğu gibidir. 3×3 pencereleri dokusal özellikleri yeterince tanılayamazsa, W boyutlu pencere uygulanabilir. Özellikle de büyük yavaş frekans elementlerinden oluşmuş dokular için, örneğin yavaşça değişen dokular için, daha büyük boyutlu pencereler daha uygundur [29].

$M_{00} =$

1	1	1
1	1	1
1	1	1

$M_{10} =$

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

$M_{01} =$

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

$M_{20} =$

1	1	1
0	0	0
1	1	1

$M_{11} =$

1	0	-1
0	0	0
-1	0	1

$M_{02} =$

1	0	1
1	0	1
1	0	1

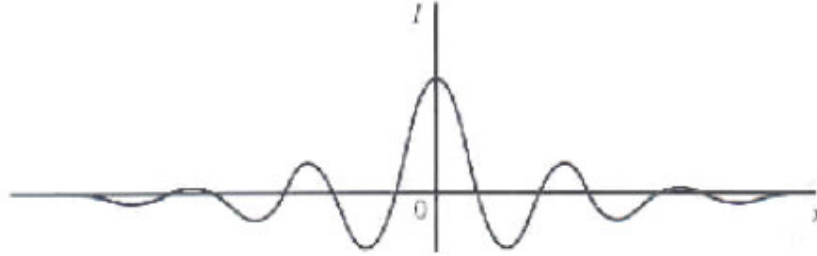
Şekil 5.2. Birinci ve ikinci momente karşılık gelen maske katsayıları

Sadece histogramlar kullanılarak hesaplanan doku ölçümleri, birbirleriyle ilgili olarak piksellerin göreceli yerleriyle alakalı bilgi sunamazlar. Bu tür bir bilgiyi doku çözümleme işlemine dahil etmenin bir yolu da sadece yoğunlukların dağılımını değil aynı zamanda eşit ya da hemen hemen eşit yoğunluk değerlerine sahip piksellerin pozisyonlarını da göz önünde bulundurmadır.

5.3. Özilinti

Kaba dokular daha büyük boyuttaki ilkellerden oluşur, ince dokular daha küçük boyutlu ilkellerden oluşur. İnce dokular daha yüksek konumsal frekanslarla, kaba dokular ise daha düşük konumsal frekanslarla tanımlanır.

Özilinti, hem yerel yoğunluk varyasyonlarını hem de dokunun tekrarlanabilirliğini gösterir. Bir özilinti modelinde tek bir piksel bir doku ikeli olarak düşünülür ve ilkelin ton özelliği gri seviyedir. Eğer doku ilkelleri oldukça büyükse, özilinti işlevi değerleri artan uzaklıkla birlikte yavaş yavaş azalır; eğer doku küçük ilkellerden oluşmuşsa hızlı bir şekilde azalır. Eğer ilkeller belirli aralıklarla dokuya yerleştirilmişlerse öz ilinti artar ve periyodik olarak uzaklıkla birlikte azalır [2,6,7,30,35].



Şekil 5.3. Özilinti işlevinin 1-D profili

Şekil 5.3 kıvrımın önemli konumsal varyasyona bağlı olduğu bir parça materyal için Özilintinin olası 1-D profilini gösterir. Özilinti işlevinin tekrarlılığını, oldukça kısa bir uzaklık üzerinden azaltıldığına dikkat çekilmelidir. Matematiksel olarak, dokudaki tonal ilkellerin konumsal boyutu, örneğin doku hücreleri, aşağıdaki şekilde tanımlanan konumsal Özilinti genişliğiyle gösterilir:

$$r(k,l) = m_2(k,l) / m_2(0,0) \quad (5.10)$$

$$m_i(k,l) = \frac{1}{N_w} \sum_{(m,n) \in W} [f(m-k, n-l)]^i \quad (5.11)$$

Burada k,l; m,n yönünde pozisyon farkıdır. f(m,n), görüntüdür; iki boyutlu tamsayı dizisi i=1,2,... ve N_w ise küçük bir hareketli W penceresi üzerindeki piksel sayısıdır. Dokunun

kaballığının, Özilinti genişliğiyle orantılı olması beklenir. Özilinti genişliği x_0 ve y_0 uzaklıklarıyla şu şekilde gösterilir:

$$r(x_0, 0) = r(0, y_0) = \frac{1}{2} \quad (5.12)$$

Moment üretme işlevi yoluyla elde edilen diğer Özilinti yayılım ölçümleri:

Burada,

$$M(k, l) \triangleq \sum_m \sum_n (m - \mu_1)^k (n - \mu_2)^l r(m, n) \quad (5.13)$$

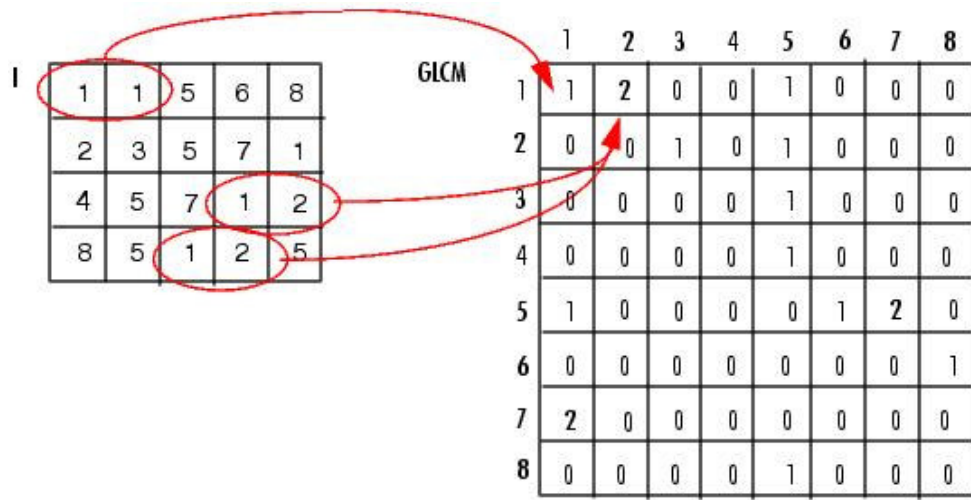
$$\mu_1 \triangleq \sum_m \sum_n m r(m, n), \quad \mu_2 \triangleq \sum_m \sum_n n r(m, n) \quad (5.14)$$

Özel ilgi öznitelikleri; M(2,0) ve M(0,2) profil yayılımları, M(1,1) çapraz ilişki, M(2,2) ikinci derece yayılımdır. İnce-kaba bir doku ölçüsü üzerindeki Özilinti yayılım kalibrasyonu, görüntünün çözünürlüğüne bağlıdır. Bu, belli bir çözünürlükte görünüşte düz bir alanın -dokunun değil- daha yüksek çözünürlükte ince doku olarak ve daha düşük çözünürlükte kaba doku olarak görünebilmesinden kaynaklanır.

Özilintinin tek başına kendisi çok sayıda doku alanını ayırt etmek için yeterli değildir, çünkü birçok farklı görüntü grubu aynı Özilintiye sahip olabilir.

5.4. Gri Seviye Eş Oluşum Matrisleri Ve Öznitelikleri

R.M Haralick tarafından önerilen gri seviye eş oluşum matrisi, dokunun uzaysal anlamda gri seviye bağımlılığını açıklamanın bir ölçüsüdür. Şekil 5.4' de gri seviye bir eş oluşum matrisinin oluşturulması görülmektedir.



Şekil 5.4. Gri seviye eş oluşum matrisi

Uygulamalarda ilk olarak gri seviye bağımlılık matrisi inşa edilir. İmge pikselleri arasındaki oryantasyon ve mesafe burada önemli bir unsurdur. Daha sonra matrizen dokusal sunum için anlamlı istatistikler çıkarılır. Dokusal sınıflandırmalar için birçok özellik önerilmiştir. Örneğin R. M Haralick tarafından önerilen doku özellikleri aşağıda sıralanmıştır [36].

- Açısal moment
- Kontrast
- Korelasyon
- Varyans
- İkinci ters diferansiyel moment
- Toplam ortalama
- Toplam varyans
- Toplam entropi
- Entropi
- Diferansiyel varyans
- Diferansiyel entropi
- Birinci korelasyon ölçüsü
- İkinci korelasyon ölçüsü

- Yerel ortalama ölçüsü

Dokusal tanımlamalar için önerilen yapı bu özellikleri içerdiğinden, her Haralick doku özelliği için bir gri seviye bağımlılık matrisi elde edilir. Bu matrisler uzaysal dağıtıklığının ve gri seviye bağımlılığının bir ölçüsünü vermektedir. Bu matrislerden istatistiksel ölçüler hesaplanarak özellik vektörleri çıkarılır.

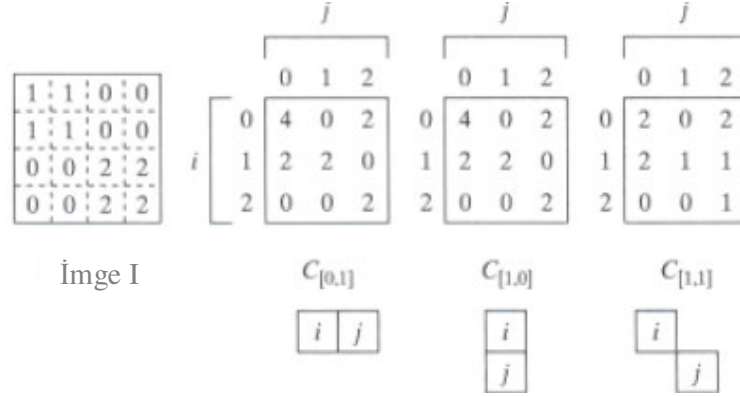
Gri seviye eş oluşum matris yaklaşımı, piksel yoğunluk dağılımı ve istatistik çalışmalarına dayanır. Yukarıda histogram bölümünde değinildiği üzere, piksel yoğunluk değerlerindeki varyanslarla ilgili olarak sadece piksel istatistiği dokunun pratik uygulamalarıyla alakalı yeterli ölçüde açıklama sağlayamamaktadır. Bu nedenle birbirleriyle belli konumsal ilişki içinde olan piksel çiftleri düşünülerek elde edilmiş ikinci sıra istatistikleri dikkate almak gerekmektedir. Gri seviye eş oluşum matrisleri; (d, θ) göreceli kutupsal koordinatlara sahip olan iki pikselin i, j yoğunluklarıyla ortaya çıktığı $C(i, j | d, \theta)$ göreceli frekansları ya da olasılıkları ifade eder.

Gri seviye eş oluşum matrisi, hem satırların hem sütunların bir dizi olası piksel V değerlerini gösterdiği iki boyutlu bir C dizisidir. Örneğin gri tondaki görüntüler için V , bir dizi olası gri tonlar olabilir ve renk görüntüleri için V olası renkler dizisi olabilir. $C(i, j)$ 'nin değeri, i değerinin j değeriyle bazı belirlenmiş konumsal ilişkiler içinde kaç kez birleştiğini belirtir. Örneğin, konumsal ilişki şu olabilir: i değeri, j değerinin sağında derhal oluşur. Daha net bir şekilde ifade etmek gerekirse belirgin olarak V dizisinin gri tonlar dizisi olduğu ve konumsal ilişkinin, i değerine sahip piksel ile j değerine sahip piksel arasındaki yer uzaklık farkını belirten bir d vektörü tarafından belirlendiği duruma bakılır. d ; d_r 'nin (aşağı inen) satırlarda bir uzaklık olduğu ve d_c 'nin (sağa doğru) sütunlarda bir uzaklık olduğu bir uzaklık (d_r, d_c) vektörü olmak üzere. Bu format hem yönü hem de uzaklığı göstermesi bakımından iyi bir formattır. V bir dizi gri ton olsun. I görüntüsü için gri ton eş oluşum matrisi C_d şu şekilde tanımlanır:

$$C_d[i, j] = \left| \{ [r, c] \mid I[r, c] = i \text{ ve } I[r + d_r, c + d_c] = j \} \right| \quad (5.15)$$

Şekil 5.5, 4 x 4 boyutundaki I görüntüsü için üç farklı gri seviye eş oluşum matrisinin oluşumunu göstermektedir. Eğer görüntü G gri seviyesine sahipse o zaman yoğunluk işlevleri $G \times G$ matrisleri olarak yazılabilir. Her matris; sayısal bir görüntüden her çift gri

seviyenin, d ayırımında ve Θ tarafından belirlenen yönde kaç kez oluştuğu sayılarak hesaplanır.



Şekil 5.5. Gri tonda bir görüntünün üç farklı eş oluşum matrisi

Şuna dikkat edilmelidir: $C_{[0,1]}$ 'de $[1,0]$ pozisyonu, $j=0$ 'ın görüntüde iki kez $i=1$ 'in doğrudan sağ tarafında görüldüğünün belirtisi olan 2 değerine sahiptir. Ancak $[0,1]$ pozisyonu, $j=1$ 'in $i=0$ 'ın doğrudan sağında asla görünmediğinin belirtisi olan 0 değerine sahiptir. En büyük eş oluşum değeri olan 4, bir 0'ın diğer bir 0'ın tam sağında dört kez görüldüğünün belirtisi olan $[0,0]$ pozisyonundadır. Standart gri ton eş oluşum matrislerinin iki önemli varyasyonları vardır. Birincisi normalize edilmiş gri ton eş oluşum N_d matrisidir, şu şekilde belirtilir:

$$N_d[i, j] = \frac{C_d[i, j]}{\sum_i \sum_j C_d[i, j]} \quad (5.16)$$

N_d matrisi sıfır ve biri birleştirmek için eş oluşum değerlerini normalize eder ve büyük bir matriste olasılıksal olarak düşünülmesine izin verir

İkincisi simetrik gri ton S_d matrisidir. Simetrik komşu çiftlerini gruplandıran S_d matrisi şu şekilde gösterilir:

$$S_d[i, j] = C_d[i, j] + C_{-d}[i, j] \quad (5.17)$$

Gri seviye eş oluşum matrisi bir dokunun özelliklerini belirler ama iki dokuyu karşılaştırmak gibi daha çok analiz için doğrudan kullanabileceğimiz şeyler değildir. Bu bilgiler, dokuyu sınıflandırmak için kullanılmadan önce sıkıştırılmalıdır. Heraldick ve diğerleri tarafından 1973'te hazırlanan belgelerde bu şekilde 14 tane ölçü vardır. Ancak 1980'de Connors ve Harlow bu ölçülerden sadece beşinin yani 'enerji', 'entropi', 'korelasyon(ilinti)', 'yerel homojenlik' ve 'eylemsizlik' in çoğunlukla kullanıldığını tespit etti. Sonrakiler normalize edilmiş eş oluşum matrisinden elde edilebilir eşzamanlı standart özneliklerdir [29]. Dokunun sınıflandırılması bu özneliklerden elde edilen kriterlere göre olabilir.

Enerji ya da açısıl ikinci moment benzerliği: görüntü homojenliği ölçüsüdür. Görüntü ne kadar homojen olursa değer o kadar büyür.

$$Enerji = \sum_i \sum_j N_d^2[i, j] \quad (5.18)$$

Entropi: Görüntünün karmaşıklık ölçüsünü verir karmaşık dokular daha yüksek entropiye sahip olma eğilimindedirler.

$$Entropi = -\sum_i \sum_j N_d[i, j] \log_2 N_d[i, j] \quad (5.19)$$

Kontrast: Yerel görüntü varyasyonlarının ölçüsü ve görüntü zıtlığının bir ölçümüdür.

$$Kontrast = \sum_i \sum_j (i - j)^2 N_d[i, j] \quad (5.20)$$

Homojenlik: Görüntünün farklı bölgelerindeki benzerliğinin bir ölçüsüdür.

$$Homojenlik = \sum_i \sum_j \frac{N_d[i, j]}{1 + |i - j|} \quad (5.21)$$

Korelasyon: Görüntü doğrusallığının ölçüsüdür. Φ yönündeki doğrusal yönlü yapılar, bu yönde büyük korelasyon değerleri meydana getirmektedir.

$$Korelasyon = \frac{\sum_i \sum_j (i - \mu_i)(j - \mu_j) N_d[i, j]}{\sigma_i \sigma_j} \quad (5.22)$$

Burada μ_i , μ_j , ortalamalardır; σ_i ve σ_j satır ve sütunların $N_d[i]$ ve $N_d[j]$ toplamalarının standart sapmalarıdır. μ_x ve μ_y 'nin ortalamalar olduğu; σ_x ve σ_y 'nin standart sapmaları olduğu $N_d[i]$ ve $N_d[j]$ toplamaları şu şekilde gösterilir:

$$N_d[i] = \sum_j N_d[i, j] \quad (5.23)$$

$$N_d[j] = \sum_i N_d[i, j] \quad (5.24)$$

Bir kullanıcı dört farklı yön ve çeşitli d değerleri için hesaplanan matrisleri kullanarak bu öznitelikleri çıkardıktan sonra, dokuyu tanımlamak için bu öznitelikleri kullanmaya hazırdır. Temel varsayım şudur: birkaç d değeri ve dört tane yön kullanılarak oluşturulmuş matrislerden çıkarılan öznitelikler dokuyu tanımlamak için yeterli dokusal bilgi içerir. Gri seviye eş oluşum matrislerinden doku ölçülerinin elde edilmesiyle ilgili bir sorun da d uzaklık vektörünün nasıl seçileceğidir. Bu soruna Zucker ve Terzopulus tarafından önerilen çözüm, en çok yapıya sahip olan d değerini(değerlerini) seçmek için bir χ^2 istatistiksel testi kullanmaktır; yani değeri maksimuma çıkarmaktır:

$$\chi^2(d) = \left(\sum_i \sum_j \frac{N_d^2[i, j]}{N_d[i] N_d[j]} - 1 \right) \quad (5.25)$$

Gri seviye eş oluşum matris metodu ikinci sıra görüntü istatistiklerini tanımlar ve çeşitli dokuların büyük bir kısmı için çok işe yarar. Bu metodun yararlı özellikleri; tonal pikseller arasındaki konumsal ilişkiyi tanımlaması ve monoton gri seviye dönüşümlerinde değişmezliğidir. Eğer görüntüye uygun bir nicemleme uygulanırsa hızlı bir hata kontrolü

yapılabilir. Belirlenen dokuların türlerine bağlı olarak bazı yönler için matrisler veya bazı d değerleri hesaplanmayabilir ve böylece zaman kazanılabilir.

Diğer taraftan, ilkel şekillerini dikkate almaz ve bu nedenle de eğer doku büyük ilkellerden oluşmuşsa tekrar başlatılamaz. Eş oluşum yaklaşımı, büyük parçalardan oluşan dokular için uygun değildir. Daha önce de belirtildiği gibi dokusal bilginin çoğunun bir takım matrisler kullanılarak elde edildiği var sayılır. Ancak bu karmaşık dokular için söz konusu olmayabilir. Yönsel açıdan dört tane yönün seçilmesi yeterli olmasına rağmen d değerleri önemli bir rol oynar. Bazı dokular, küçük d değerleri ile tanımlanabilirken bazıları, yalnızca büyük d değerleri kullanılırsa ayırt edilebilir. Uygun d değerinin seçimi tamamen dokuya bağlıdır ve bu da algoritmaların dayanıklılığını azaltır. Sekiz bitlik gri seviye görüntüleri için her eş oluşum matrisinin ölçüsü 256x256'dır ki bu da hesaplama ve bellek sorunlarına neden olur. Gri seviyenin sayısı eş oluşum matrisinin boyutlarını azaltan 32 ya da 64'e göre ayarlanabilir ama uygulamada çok da önemli olmamasına rağmen gri seviyenin ölçüsünün azaltılması negatif etkiler yaratabilir.

5.5. Gri Seviye Dizi Uzunluk Matrisleri

Çok sayıda aynı gri seviyedeki komşu pikseller, kaba bir dokuyu temsil eder; bu piksellerin azı da ince dokuyu betimler. Farklı yönlerdeki doku ilkellerinin uzunlukları, doku tanımı olarak işe yarar. Bir doku ilkel, bir çizgide yer alan sabit gri seviye piksellerinin maksimum yakın olan dizisidir. Bunlar daha sonra gri seviye, uzunluk ve yön ifadeleri ile tanımlanabilir. Doku tanımlama öznelikleri, uzunluğun yakın olasılıklarının hesaplanmasına ve dokudaki ilkelerin gri seviyesine dayanabilir.

Gri seviye dizi uzunluk metodu, farklı uzunlukların gri seviye sayılarının hesaplanmasına dayanır. Bir gri seviye uzunluğu, aynı gri seviye değerine sahip doğrusal bir komşu resim noktaları dizisidir. Gri seviye dizi uzunluğu içindeki resim noktalarının sayısıdır. Gri düzey dizi uzunluk matrisinin $B(a, r, \emptyset)$ elementi; bir resmin $\emptyset$ açısı yönünde a gri seviyesi için j uzunluğunun ölçüsünü içerdiği zamanların sayısını belirtir. Bu matrisler genellikle çok sayıda $\emptyset$ değerleri için hesaplanır.

$B(a, r)$, yaklaşık Θ yönünde r uzunluk ilkellerinin ve a gri seviyesinin sayısı olsun; M, N görüntü boyutları ve L, görüntü gri seviyelerinin sayısı olsun. N, görüntüdeki maksimum ilkel uzunluğu olsun. Doku tanımının öznelikleri aşağıdaki şekilde belirlenebilir; K dizi uzunluklarının toplam sayısı olsun:

$$K = \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} B(a, r) \quad (5.26)$$

Siew ve diğerkleri tarafından önerilen gri seviye dizi uzunluk öznitelikleri aşağıdaki şekilde belirlenir:

Uzun ilkel(Run) Şiddeti/vurgusu/emphasis (LRE) ;

$$\frac{1}{K} \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} B(a, r) r^2 \quad (5.27)$$

Bu herhangi bir gri seviyenin uzun dizi uzunluklarına daha büyük bir önem verir.

Kısa ilkeller(Run) Şiddeti/vurgusu (SRE);

$$\frac{1}{K} \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} \frac{B(a, r)}{r^2} \quad (5.28)$$

Bu da herhangi bir gri seviyenin kısa dizi uzunluklarına daha büyük önem verir.

Gri seviye benzerliği (GLU);

$$\frac{1}{K} \sum_{a=1}^L \left(\sum_{r=1}^{N_r} B(a, r) \right)^2 \quad (5.29)$$

Dizi uzunlukları dengeli bir şekilde bölündüğü zaman bu, en küçüktür.

İlkellerin (run) uzunluk benzerliği (RLU)

$$\frac{1}{K} \sum_{r=1}^{N_r} \left(\sum_{a=1}^L B(a, r) \right)^2 \quad (5.30)$$

Dizi uzunlukları dengeli bir şekilde bölüştürüldüğü zaman bu en küçüktür.

İlkelin (run) yüzdesi (RPC);

$$\frac{K}{\sum_{n=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} rB(a, r)} = \frac{K}{MN} \quad (5.31)$$

Burada N^2 görüntüdeki noktaların sayısıdır. Dizi uzunluklarının hepsi kısa olduğu zaman bu en büyüktür.

Gri seviye dizi uzunluk matrisi yöntemi, genellikle dokuyu betimleyen istatistiksel öznitelikler çıkarmak için kullanılır, çünkü daha uzun dizi uzunlukları homojenliği, daha kısa dizi uzunlukları da hızlı gri seviye değişimini belirtir.

Öte yandan diğer benzer metotlar gibi hesaplamayla ilgili zorluklar ve gri seviye geçiş bilgisi eksikliği gri seviye dizi uzunluğu matrislerinin olumsuzluklarıdır. Gri seviye bakış açısına göre gri seviye dizi uzunluğu matrisi kısmi bir ölçümdür; sadece kesintisiz bölümleri ölçer. Büyük ve derin aralıklara sahip bir görüntü için komşu gri seviyeleri, aralıkların doğru bir tanımını verilemeyebilen birçok küçük dizi uzunluğu olarak belirecektir.

5.6. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacıklar, veriyi farklı frekans bileşenlerine ayıran ve sonra kendi ölçekleriyle eşleştirilmiş bir çözünürlüğe sahip bileşenler üzerinde çalışan matematiksel fonksiyonlardır. İşaretin süreksizliklere ve keskin, sivri uçlara sahip olduğu fiziksel durumları incelemede, Fourier metotlarına göre daha avantajlıdır. Dalgacıklar matematik, kuantum fiziği, elektrik mühendisliği ve sismik jeoloji alanlarından bağımsız olarak geliştirilmişlerdir. Son on yıl içerisinde bu alanlar arasındaki yer değiştirmeler resim sıkıştırma, haberleşme, insanın görme gücü ve radar gibi birçok yeni dalgacık uygulamalarına yol açmıştır. Dalgacık dönüşümü, fonksiyonları, operatörleri veya veriyi farklı frekanstaki bileşenlerine ayıran ve ayrı ayrı her bileşen üzerinde çalışmamıza izin veren bir araçtır [37].

$\psi(x)$ ile gösterilen ana dalgacığın ötelenip genişmesiyle elde edilen ve aşağıda tanımlanan $\psi_{m,n}(x)$ fonksiyonları bir birim küme oluştururlar şöyle ki;

$$\psi_{m,n}(x) = 2^{-m/2} \psi(2^{-m}x - n) \quad (5.32)$$

Burada m ve n tam sayılardır. Herhangi bir $f(x)$ sinyalinin $\psi_{m,n}(x)$ fonksiyonları ile çözümlenmesi DD olarak tanımlanır. $\psi_{m,n}(x)$ fonksiyonları birim dik bir küme oluşturduklarından $f(x)$ sinyali için, sırasıyla, aşağıdaki analiz ve sentez formülleri yazılabilir;

$$c_{m,n} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \psi_{m,n}(x) dx \quad (5.33)$$

$$f(x) = \sum_{m,n} c_{m,n} \psi_{m,n}(x) \quad (5.34)$$

Ana dalgacık iki aşamada tanımlanabilir. Birinci aşama aşağıdaki fark denklemini sağlayan bir ölçekleme fonksiyonu $\phi(x)$ 'in tanımlanmasıdır. İkinci aşamada ise ana dalgacık ölçekleme fonksiyonu ile ilişkilendirilir. Bu ifadeler sırasıyla aşağıda verilmiştir;

$$\phi(x) = \sqrt{2} \sum_k h(k) \phi(2x - k) \quad (5.35)$$

$$\psi(x) = \sqrt{2} \sum_k g(k) \phi(2x - k) \quad (5.36)$$

Burada $g(k) = (-1)^k h(1-k)$. Çözümleme aşamasında ölçekleme ve ana dalgacık fonksiyonlarının hesaplanması gerekmemektedir; $h(k)$ ve $g(k)$ fonksiyonlarını kullanılarak dönüşüm katsayıları yinelemeli olarak bulunabilir. J - seviyesinde bir çözümleme şu şekilde ifade edilebilir;

$$\begin{aligned} f(x) &= \sum_k c_{0,k} \phi_{0,k}(x) \\ &= \sum_k (c_{J+1,k} \phi_{J+1,k}(k) + \sum_{j=0}^J d_{j+1,k} \psi_{j+1,k}(x)) \end{aligned} \quad (5.37)$$

Burada $c_{0,k}$ katsayıları bilinmektedir ve $j+1$ seviyesindeki $c_{j+1,n}$ ve $d_{j+1,n}$ katsayıları, j seviyesindeki $c_{j,n}$ katsayıları ile şu şekilde ilişkilidirler ($0 \leq j \leq J$);

$$c_{j+1,n} = \sum_k c_{j,k} h(k - 2n) \quad (5.38)$$

$$d_{j+1,n} = \sum_k d_{j,k} g(k - 2n) \quad (5.39)$$

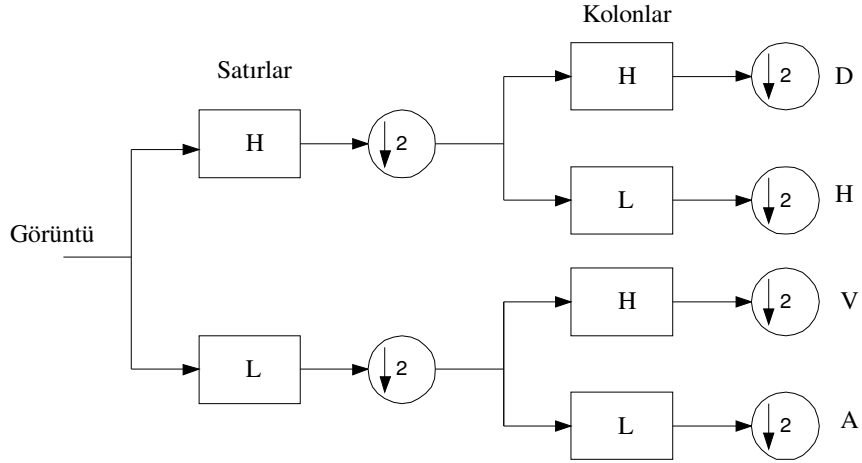
Bu ifadelerin sinyal işleme yönünden yorumu ise şöyledir: $j+1$ çözünürlüğündeki $c_{j+1,n}$ ve $d_{j+1,n}$ katsayılarının elde edilmesi için, j çözünürlüğündeki $c_{j,n}$ ve $d_{j,n}$ katsayılarının $\tilde{h}(n)$ ve $\tilde{g}(n)$ fonksiyonları ile evriştirilip örnek sayısının iki kere seyreltilmesi gerekmektedir. Burada $\tilde{h}(n)$ ve $\tilde{g}(n)$ fonksiyonları, sırasıyla L alçak geçiren dördün ikiz ve H yüksek geçiren dördün ikiz süzgeçleridir ve aşağıdaki şekilde tanımlanmışlardır;

$$\tilde{h}(n) = h(-n) \quad (5.40)$$

$$\tilde{g}(n) = g(-n) \quad (5.41)$$

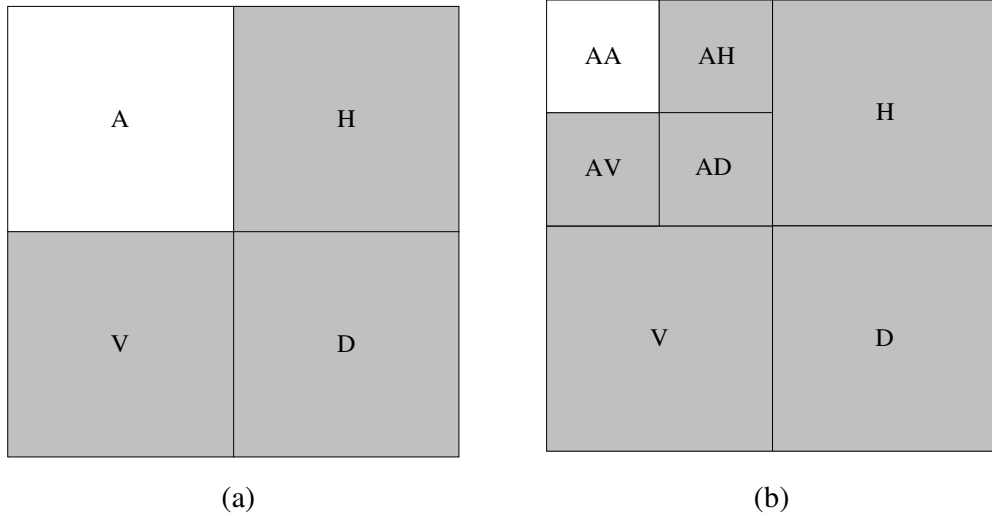
Bu işlemin sonucunda her j -seviyesindeki çözünürlük için alçak çözünürlüğe sahip $c_{j,n}$ katsayıları ve detayları gösteren $d_{j,n}$ katsayıları elde edilir. Şekil 5.6'da tek boyutlu dalgacık

filtrelerin iki boyutlu görüntüye nasıl uyarlandığı gösterilmiştir. Görüntünün satırları ve sütunları ayrı ayrı alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilip, örnek sayısı yarıya düşürülür. Böylece görüntünün yaklaşığı ile detayları elde edilir.



Şekil 5.6. Tek seviyeli dalgacık analiz filtre bankası

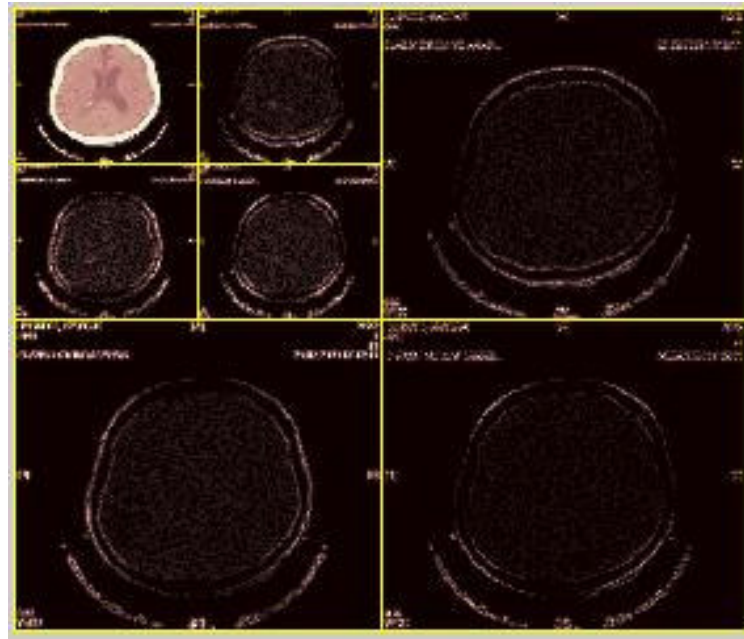
Sinyaller sadece alçak geçiren bantların kullanılması ile piramit yapıda dalgacık dönüşümü ile alt bantlara ayrıştırılabileceğı gibi tüm alt bantları kullanan dalgacık paket dönüşümü ile de alt bantlara ayrıştırılabilir. 2-boyutlu uzaydaki 2-düzeyle bir dalgacık paket ağaç yapısı Şekil 5.7’de gösterilmiştir. A harfi yaklaşığı, H harfi yatay, V harfi dikey, D harfi ise köşegensel detayı temsil etmektedir.



Şekil 5.7. DD ayrışımı (a) Tek seviyeli ayrışım (b) İki seviyeli ayrışım



(a)



(b)

Şekil 5.8. Dalgacık dönüşümü
a) Orjinal imge, b) İki seviyeli dalgacık dönüşümü sonucu

Şekil 5.8 iki seviyeli dalgacık dönüşümünün biyomedikal bir beyin imgesine uygulanışı görülmektedir. Bu, Şekil 5.7’de verilen temsili resmin pratikteki uygulaması ve sonucudur.

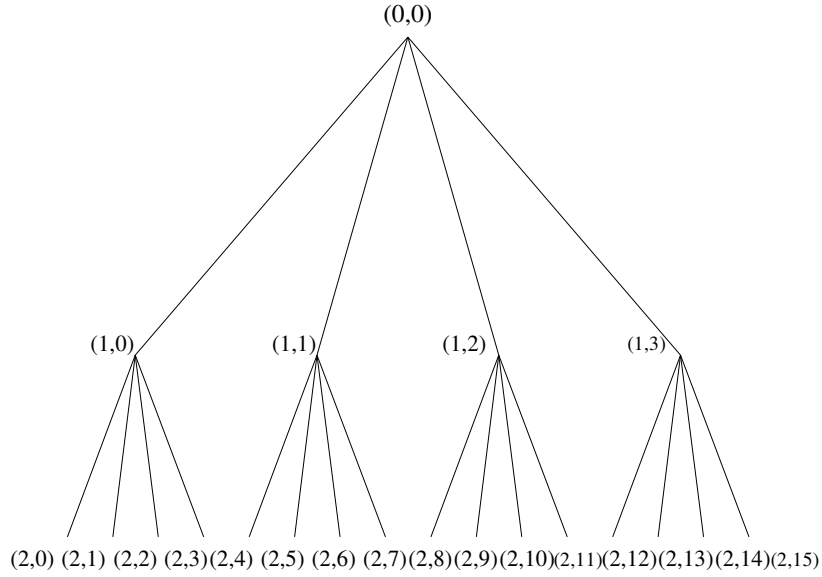
5.7. Dalgacık Paket Ayrışımı

Dalgacık dönüşümü kullanılırken genellikle analiz edilecek işaretin yüksek frekanslı bileşenleri küçük zaman pencereleri ile, düşük frekanslı bileşenleri ise daha geniş zaman pencereleri ile temsil edilir. Bu durum, düşük frekanslı bir bileşenin yüksek frekanslı bir bileşene göre daha uzun bir zamanda bir periyotluk süreyi tamamlamasından ileri gelir. Buna dalgacık ayrışımı adı da verilir. Dalgacık ayrışım fonksiyonu genel olarak m seviyede ve t_m zaman yerleşme değerinde aşağıda Denklem 5.42 deki gibi ifade edilebilir.

$$d_m(t_m) = x(t)\psi_m\left(\frac{t-t_m}{2^m}\right) \quad (5.42)$$

burada $x(t)$ işaretin kendisini ve ψ_m m frekans seviyesindeki ayrışım filtresini temsil eder. Ayrışım filtresinin etkisi, m seviyede 2^m ile skalalanır. DPA, ADD' ye benzer olup, işaret üzerinde mümkün olan birçok ayrışimleri üretir ve ADD bunlardan sadece biridir. Filtre bankası her bir zaman için düşük frekans bileşenlerini tam olarak ayırtırmak yerine, yüksek frekans bileşenlerini daha iyi ayırtırmayı mümkün kılar. Böylece tüm zaman-frekans düzlemi mümkün olan tüm alt bölümlere, farklı zaman-frekans pencereleri ile bölünür. DPA' nın avantajı asıl işaretin en uygun ZFG' sini elde etmek için ayrışımın farklı seviyelerini birleştirmeyi mümkün kılmasıdır.

Şekil 5.9'da ikinci seviyeden dalgacık paket ayrışımı gösterilmiştir. Böylece toplam 4^n , n ayrışım seviyesi olmak üzere, 16 alt görüntü elde edilmektedir.



Şekil 5.9. DPA ile DD ayrışımının ağaç yapısı

5.8. Gabor Yöntemi

Gabor filtreleri görüntü analizinde kullanılan popüler bir araçtır ve bilgisayar görüntüsünde yaygın olarak kullanılır. Uygulamalar, yüz izleme, yüz ve nesne tanımlama ve doku analizini içerir [41]. Gabor filtrelerinin kullanımı ana görme merkezindeki basit hücrelerin alıcı alanlarının davranışlarını gösteren nörofizikal çalışmalarla desteklenir ki bu da gabor filtreleri tarafından oldukça iyi bir şekilde hesaplanır. Bundan dolayı da gabor filtreleri, biyolojik olarak esinlenilmiş ilk görme sistemlerinde de uygulanır [41].

Gabor filtresi bir görüntüden alınan yerel sıklık bilgisine ulaşmaya da olanak sağlar. Bütün görüntünün global bir frekans alanının temsiliyi belirleyen fourier analizinin aksine gabor filtresi uzaysal alanda bir sonuç vererek belli frekans kuşaklarının gücünü ve görüntü üzerinde her konumdaki yönelimleri tahmini olarak hesaplar.

Gabor filtresinin bilgisayar görüntüsünde kullanılmasının dezavantajı yüksek hesaplama gerektirmesidir. Bir görüntüye gabor filtresini uygulamak; farklı dalga boyu ve yönlerinin çeşitli dalgacık çekirdeklerinden oluşmuş bir dizi gabor dalgacıklarına sahip evrişim içerir. Bu evrişimlerin uygulama maliyeti ayrı ayrı belirlenerek önemli ölçüde azaltılırken toplam hesap bunu kullanmamızı engelleyecek derecede yüksektir.

Frekans ve yönelim karakteristiklerine göre insan görme sistemiyle büyük benzerlik gösteren Gabor dalgacıkları özellikle doku betimlemeleri, yüz tanıma ve ayırma uygulamalarında kullanılmaktadır. Uzaysal alanda 2 boyutlu Gabor süzgeci, ϕ , Gauss çekirdek fonksiyonunun sinüs düzlem dalgalarıyla kiplenmesiyle oluşur:

$$\phi\Pi_{(f,\theta,\gamma,\eta)}(x,y)=\frac{f^2}{\pi\gamma\eta}\exp(-(\alpha^2 x'^2+\beta^2 y'^2))\exp(j2\pi fx') \quad (5.43)$$

$$x' = x\cos\theta + y\sin\theta \quad y' = -x\sin\theta + y\cos\theta \quad (5.44)$$

Burada f sinüs düzlem dalgasının merkez frekansını, θ Gauss dalgasının saat yönü tersine dönüşünü, α Gauss dalgasının büyük eksene paralel netliğini, β aynı dalganın dalgaya dik ve küçük eksen yönündeki netliğini, $\gamma = \frac{f}{\alpha}$ ve $\eta = \frac{f}{\beta}$ frekans ile netlik arasındaki oranını tutmak üzere tanımlanır.

En kullanışlı özneteliklerin imgeden çıkarılması için farklı frekanslar ve yönelimler kullanılmaktadır:

$$\phi_{u,v} = \phi\Pi(f_u, \theta_c, \gamma, \eta), \quad f_u = \frac{f_{\max}}{\sqrt{2^u}}, \quad \theta_c = \frac{v}{8}\pi \quad (5.45)$$

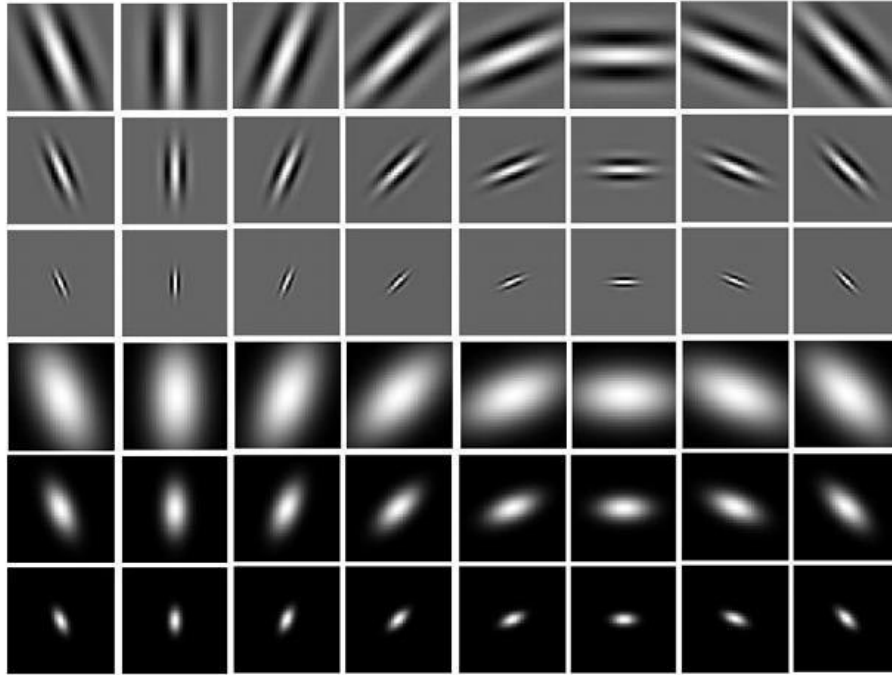
$$u=0,\dots,U-1, \quad v=0,\dots,V-1$$

Burada U ölçek sayısını, V yönelim sayısını göstermektedir. Genellikle $f_{\max}$ Nyquist teoremine dayanılarak 0.5 seçilir. $f_{\min}$ ise biyomedikal imgeler için deneysel sonuçlarda 0.1 olarak belirlenmiştir. Genel benimsenmiş değerler $\alpha = \beta$ ve $\gamma = \eta = \sqrt{2}$ olarak alınmaktadır [42, 43].

Gabor filtresi ile insan beyninin görsel amaçlı özel hücrelerinin doğrultuya ve bölgesel frekansa karşı hassaslaştığı gösterilmiştir. Gabor filtresi sayısal görüntü işleme uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Yaygın olarak denklem 5.46 daki formülle ifade edilir.

$$\begin{aligned}
h_e(x, y) &= g(x, y) \cdot \cos[2\pi f(x \cos \theta + y \sin \theta)] \\
h_0(x, y) &= g(x, y) \cdot \cos[2\pi f(x \cos \theta + y \sin \theta)] \\
g(x, y) &= \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right]
\end{aligned} \tag{5.46}$$

Aşağıdaki şekil ilk üç satırda 3 ölçekli 8 yönelimli Gabor süzgeçlerinin gerçel kısımlarını, son üç satır ise büyüklüklerini göstermektedir.



Şekil 5.10. Üç ölçekli sekiz yönelimli Gabor süzgeç yapısı

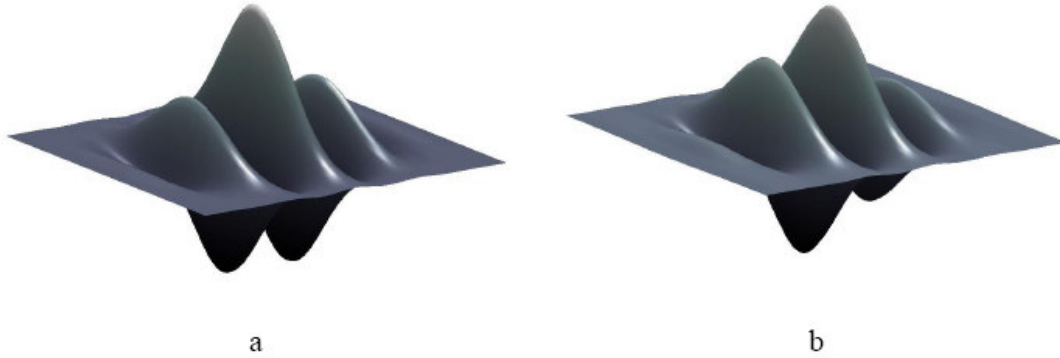
Gabor süzgeç sayısı farklı uygulamalar için farklılıklar gösterir. 3-ölçek ve 8-yönelimli süzgeçleme için 64x64 boyutundaki bir imge kullanıldığında $64 \times 64 \times 3 \times 8 = 98,304$ boyutunda bir özellik vektörü oluşmaktadır. Görüldüğü gibi öznitelik vektörü çok yüksek boyutlarda çıkmaktadır. Bunlar arasında sınıflandırma için önemi yüksek olanlarını seçmek, vektörün boyutunu düşüreceği için hesaplama karmaşıklığı azalacak ve aynı zamanda yüksek öneme sahip bileşenler kullanıldığı için de sınıflandırma oranlarında bir düşüş yaşanmayacaktır. Literatürde en iyi Gabor öznitelikleri seçiminin çeşitli yükseltgeme algoritmaları ile sağlandığı görülmüştür [41]. En iyi Gabor özniteliklerini seçmek ve boyut

bazında indirgemeyi sağlamak için öznitelik vektörlerini art arda bağlamak yerine, ölçekler ve yönelimler üzerinden toplamak bir metot olarak sunulmuştur.

Bir Gabor dalgacığı, iki boyutlu Gaussian zarfıyla sınırlandırılmış karmaşık düzlemsel bir dalgadır. Şekil 5.11, bir Gabor dalgacığının gerçek ve hayali bileşenlerini gösterir. Ölçek ve yönelim dışında iki dalgacığı birbirinden ayıran tek şey dalga boyu ile Gaussian zarfının genişliği arasındaki orandır.

Her Gabor dalgacığı, belli bir dalga boyuna ve yönüne sahiptir ve görüntüdeki yaklaşık dalga boyunun ve yönünün yerel frekanslarının boyutlarını tahmini hesaplamak için bir görüntü ile evriştirilebilir.

Gabor dalgacıklarının bir jeti farklı farklı dalga boyuna ve yönüne sahip pek çok dalgacıktan oluşur. Filtrelerin tam bir jeti ile bir görüntüyü evriştirerek jetin bant aralığı içindeki yerel frekans bilgisinin boyutunu ve evresinin miktarını belirlemek mümkündür. Boyut ve şekilleri dışında bir jet içindeki bütün dalgacıklar genellikle birbirinin aynıdır.



Şekil 5.11. Gabor dalgacık çekirdeğinin dört evreli bileşenleri, a. gerçek (simetrik), b. Sanal (asimetrik) bileşen

Gabor filtreleri tek boyutlu sinyaller için mükemmel bant geçiren süzgeçler olarak görev yapmaktadırlar. Karmaşık Gabor filtresi bir gaussian çekirdeğinin ürünü olarak tanımlanır ve karmaşık bir sinüzoidi tekrarlar. Başka bir ifadeyle:

$$g(t) = ke^{3\theta} w(at)s(t) \quad (5.47)$$

Burada,

$$w(t) = e^{-\pi t^2} \quad (5.48)$$

$$s(t) = e^{j(2\pi f_0 t)} \quad (5.49)$$

$$e^{j\theta} s(t) e^{j(2\pi f_0 t + \theta)} = (\sin(2\pi f_0 t + \theta), j \cos(2\pi f_0 t + \theta)) \quad (5.50)$$

Burada k , θ , f_0 filtre parametreleridir. Karmaşık Gabor filtresini, karmaşık fonksiyonun gerçek ve karmaşık bölümünde ölçülü bir şekilde ayrılmış iki tane faz dışı filtre olarak düşünebiliriz, gerçek bölüm aşağıdaki filtreyi içerir;

$$g_r(t) = w(t) \sin(2\pi f_0 t + \theta) \quad (5.51)$$

ve sanal bölüm denklem 5.52 'deki filtreyi kapsar,

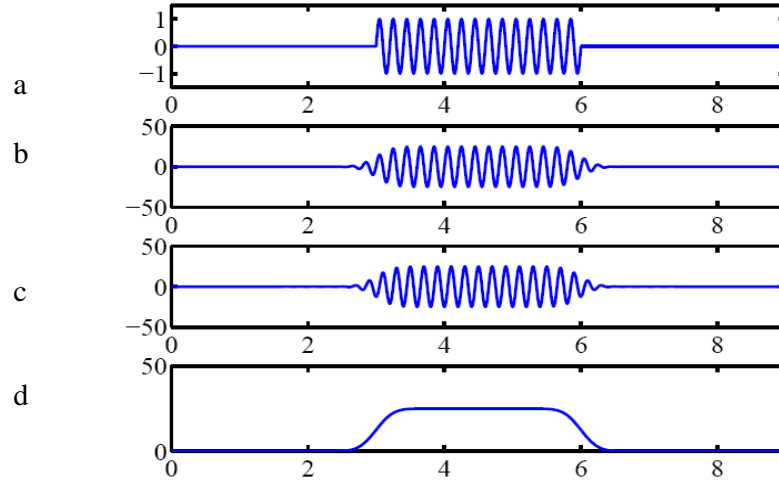
$$g_i(t) = w(t) \cos(2\pi f_0 t + \theta) \quad (5.52)$$

5.8.1. Gabor Enerji Filtreleri

Karmaşık gabor filtresinin gerçek ve sanal bileşenleri faz duyarlıdır. Başka bir ifadeyle sonuçta bir sinüzoidde olan tepkileri şekil 5.6'da gösterildiği gibi diğer bir sinusoiddir. Çıktının büyüklüğünü alarak (gerçek ve sanal çıktıların kareleri alınmış toplamalarının karekökü) faz duyarsız tepki ve böylece de hedef sinusoid girdisine module olmayan pozitif tepki olarak şekil 5.12'de gösterildiği gibi alınabilir. Bazı durumlarda faz filtrelerinden iki tanesinin çıktı toplamalarını hesaplamak yararlı olabilir. Böyle yapmanın yaygın yollarından biri her filtrenin karesi alınmış çıktısını (enerji) eklemektir, aynı şekilde büyüklüğü de elde edebiliriz. Bu karmaşık Gabor filtre çıktısının büyüklüğüne (daha net bir ifadeyle karesi alınmış büyüklük) denk gelir. Frekans alanında belli bir frekansa verilen tepkinin boyutu temelde fourier dönüşümünün büyüklüğüdür. Başka bir ifadeyle:

$$\|g(f)\| = \frac{k}{a} \hat{w}\left(\frac{f - f_0}{a}\right) \quad (5.53)$$

Bunun f_0 'da bulunan ve a 'ya orantılı eni olan bir Gaussian fonksiyonu olduğuna dikkat edilmelidir.



Şekil 5.12. Gabor enerji filtresi

a: girdi sinyali, b: Gabor filtresinin çıktısı(kosinüs taşıyıcısı), c: dört evreli gabor filtresinin çıktısı(sinüs taşıyıcısı), d: gabor enerji filtresinin çıktısı.

5.8.2. Konumsal (2D) Gabor Filtresi

Burada uzaysal bölgede karmaşık gabor fonksiyonunun formülü:

$$g(x, y) = s(x, y)w_r(x, y) \quad (5.54)$$

Burada $s(x, y)$ taşıyıcı olarak bilinen karmaşık sinüsoiddir. Ve $w_r(x, y)$, zarf olarak bilinen bir 2D Gaussian biçimli fonksiyondur.

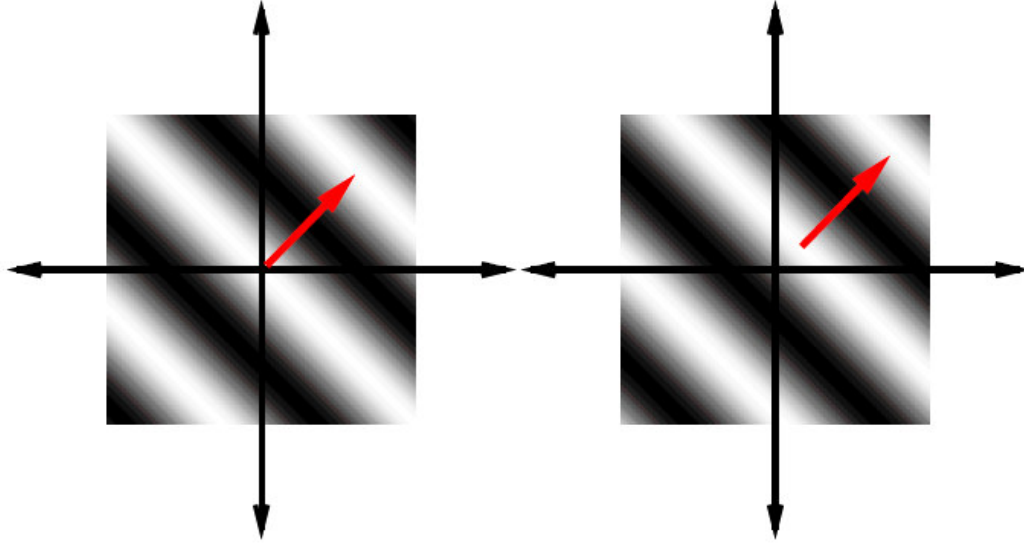
5.8.3. Karmaşık Sinüsoid Taşıyıcısı

Karmaşık sinusoid aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$s(x, y) = \exp(j(2\pi(u_0x + v_0y) + P)) \quad (5.55)$$

Burada (u_0, v_0) ve P konumsal frekansı ve ayrı ayrı sinüsoidin evresini tanımlar.

Bu sinüzoidi karmaşık bir fonksiyonun gerçek ve sanal bölümlerinde uygun bir şekilde ayrılmış iki ayrı gerçek fonksiyon olarak düşünebiliriz.



Şekil 5.13. Karmaşık bir sinüsoidin gerçek ve sanal bölümleri, Görüntüler 128x128 piksellerdir.
Parametreler şunlardır: $u_0 = v_0 = 1/80 \text{ sayı} // \text{ piksel}, P = 0$

Bu sinüsoidin gerçek ve sanal bölümleri:

$$\begin{aligned} \text{Re}(s(x, y)) &= \cos(2\pi(u_0x + v_0y) + P) \\ \text{Im}(s(x, y)) &= \sin(2\pi(u_0x + v_0y) + P) \end{aligned} \quad (5.56)$$

u_0 ve v_0 parametreleri kartezyen koordinatlarında sinüzoidin konumsal sıklığını tanımlar.

Konumsal frekans F_0 çapı ve w_0 yönü olarak kutupsal koordinatlarda açıklanabilir.

$$\begin{aligned} F_0 &= \sqrt{u_0^2 + v_0^2} \\ w_0 &= \tan^{-1}\left(\frac{v_0}{u_0}\right) \end{aligned} \quad (5.57)$$

Başka bir ifadeyle,

$$\begin{aligned} u_0 &= F_0 \cos w_0 \\ v_0 &= F_0 \sin w_0 \end{aligned} \quad (5.58)$$

Bu tanımlamayı kullanarak karmaşık sinusoid şöyle olur:

$$s(x, y) = \exp(j(2\pi F_0(x \cos w_0 + y \sin w_0) + P)) \quad (5.59)$$

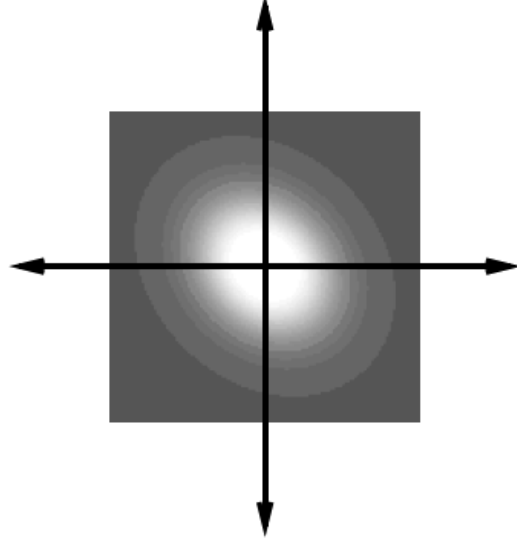
5.8.4. Gaussian Zarfı

Gaussian zarfı şekil 5.14'te görüldüğü gibidir.

$$w_r(x, y) = K \exp(-\pi(a^2(x - x_0)_r^2 + b^2(y - y_0)_r^2)) \quad (5.60)$$

Burada (x_0, y_0) fonksiyonun tepesidir. a ve b gaussianın ölçeklenen parametreleridir, ve r alt simgesi dönme işlemini simgeler.

$$\begin{aligned} (x - x_0)_r &= (x - x_0) \cos \theta + (y - y_0) \sin \theta \\ (y - y_0)_r &= -(x - x_0) \sin \theta + (y - y_0) \cos \theta \end{aligned} \quad (5.61)$$



Şekil 5.14. Gaussian zarfı, Görüntü 128x128 pikseldir. Parametreler şu şekildedir: $x_0 = y_0 = 0, a = 1/50 \text{ piksel}, b = 1/40 \text{ piksel}, \theta = -45$

6. BAŞARIM VE DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

6.1. Giriş

Bu kısımda yapılan uygulamaların etkinliklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan bazı metriklerden söz edilecektir. Çalışmalar sırasında Canberra, Öklit, Minkowski, Hamming, Manhattan gibi birçok metrik kullanılmıştır. Bunlardan yaygın kullanıma sahip olanlar aşağıda açıklanmıştır.

6.2. Benzerlik İçin Kullanılan Metrikler

İmgeler arası benzerliklerin tespit edilmesinde bazı metrikler kullanılır. Bu kullanılan yapılar, uygulanan yöntemin yapısına bağlı olarak geliştirilmiş olan öznitelik vektörleri arasındaki bazı matematiksel işlemlerden oluşur. Bu kısımda bu benzerlik ölçüm metriklerinden söz edilmektedir. Tez çalışmamız boyunca Öklit mesafesi, Minkowski, Canberra, Hamming, Manhattan gibi birçok metrik incelenmiş, Matlab ortamında geliştirilmiş kodlarla benzerlik sonuçları incelenmiştir. Sıklıkla kullanılan bazı metrikler için detaylar sunulmuştur.

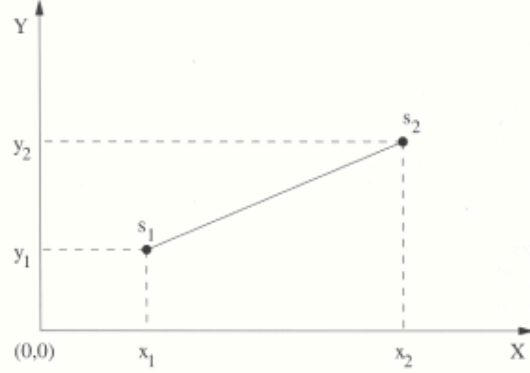
6.2.1. Öklit Mesafesi

Öklit uzaklığı ve Öklit uzaklığının karesi formülleri ile standartlaştırılmış verilerle değil, işlenmemiş verilerle hesaplama yapılır. Öklit uzaklıkları kümeleme analizine sıra dışı olabilecek yeni nesnelerin eklenmesinden etkilenmezler. Ancak boyutlar arasındaki ölçek farklılıkları öklit uzaklıklarını önemli ölçüde etkilemektedir. Öklit uzaklık formülü en yaygın olarak kullanılan uzaklık hesaplama formülüdür. Öklit ve öklit uzaklığının karesinin formülleri aşağıda görülmektedir. Tez çalışmamızda da ölçüm kriteri olarak öklit uzaklığı kullanılmıştır. Kullanılan metriklerin değişmesi yöntemin başarımında önemli oranda bir değişiklik yaratmamaktır.

$$\text{Öklit uzaklığı formülü:} \quad \text{distance}(x, y) = \{\sum_i (x_i - y_i)^2\}^{1/2} \quad (6.1)$$

$$\text{Öklit uzaklığının karesi formülü:} \quad \text{distance}(x, y) = \sum_i (x_i - y_i)^2 \quad (6.2)$$

Yapılan birçok çalışmada, öznitelik vektörü modellerinin ve metrik uzaklıkların belli eksikliklerine dikkat çekilmiştir. Metrik ölçümler bile insanın benzerlik yargısına yakın bir sonuç vermez.



Şekil 6.1. İki boyutlu metrik alandan öklit uzaklığı

Yinede bu model, görsel bilgi erişim sistemlerinde en çok uygulanan bir model olmasını sağlayan birçok avantaja sahiptir:

1. Belli türdeki insan benzerlik yargıları için uygundur. Örneğin renk uyarıcıların benzerlik yargıları bu model yoluyla yaklaşık olarak tahmin edilir.
2. Örüntü tanıma ve bilgisayar görüntüsünde iyi yapılandırılmış bir yaklaşım olan öznitelik tabanlı tanımlamalar ile uygunluk içerisindedir.
3. Eğer görsel bilgi, öznitelik vektörü yoluyla biçimlendirilirse, klasik çok boyutlu erişim metotlarına göre bu vektörler için bir indeks oluşturulabilir. Veri tabanı görüntülerinin sayısı çok fazla olunca indeksler çok faydalı olur.

6.2.2. Minkowski Mesafesi

Literatür taramalarında yaygın olarak karşılaşılan metriklerden biri de Minkowski metriğidir. Bu metrik için kullanılabilecek genel formül aşağıda verildiği gibidir.

$$d(S_1, S_2) = \sum_{k=1}^n |x_k - y_k| \quad (6.3)$$

6.2.3. Manhattan Mesafesi(City Block)

P boyutlu uzayda verilen i ve j noktalarının birbirine olan uzaklığı

$$d(i, j) = |x_{i1} - x_{j1}| + |x_{i2} - x_{j2}| + \dots + |x_{ip} - x_{jp}| \quad (6.4)$$

Manhattan uzaklığı boyutlar arasındaki ortalama farka eşittir. Bu ölçüt kullanıldığında farkın karesi alınmadığı için sıradışılıkların etkisi azalır.

Manhattan uzaklığının formülü denklem 6.5’ de görülmektedir.

$$\text{distance}(x, y) = \sum_i |x_i - y_i| \quad (6.5)$$

7. UYGULAMA VE SONUÇLAR

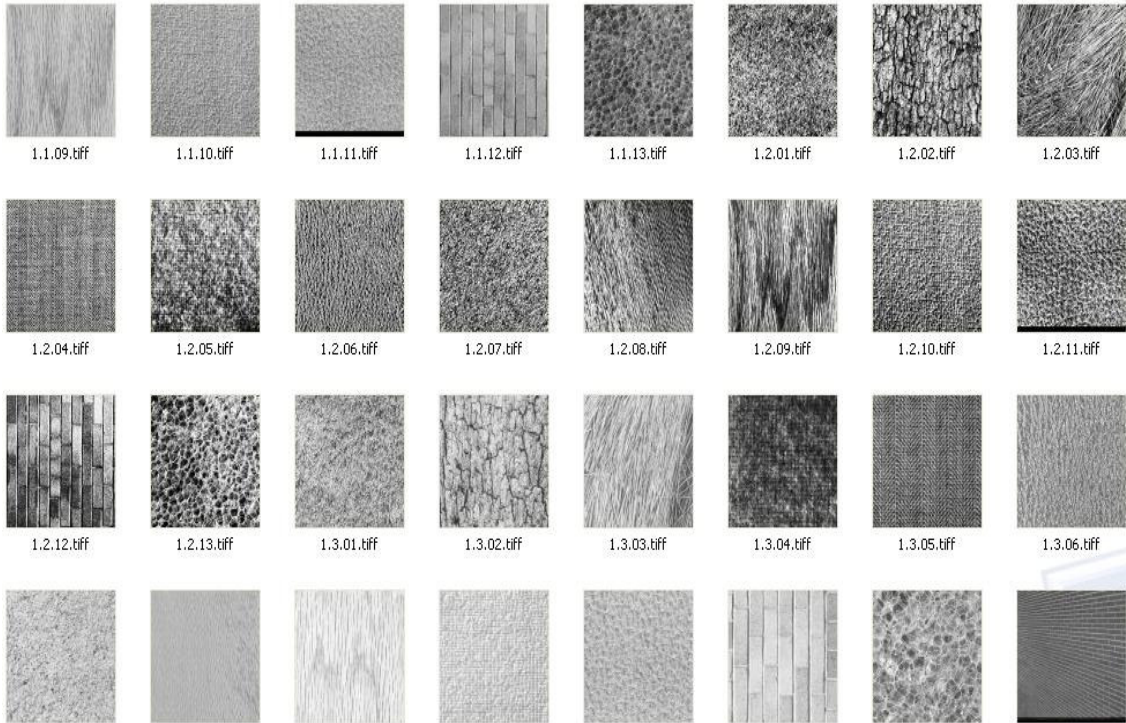
7.1. Giriş

Bu bölümde tez çalışması süresince yapılan çalışmalar detaylıca anlatılacaktır. İlk oluşturulan veritabanı ve kullanılan materyal tanıtılacaktır. Sonraki kısımda uygulamalarda kullanılan ve geliştirilen yöntemlerden bahsedilecektir. Daha sonra uygulamadan elde edilen sonuçlar verilecektir. Son olarak, elde edilen bulguların ışığında çalışmaların geleceği hakkında sonuç bölümü yer alacaktır.

7.2. Veritabanının Oluşturulması

Görüntü işleme, bilgisayar görmesi, örüntü tanıma gibi alanlarda, literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde kullanılan ortak hazır veritabanları olduğu bilinmektedir.

Bu veritabanlarından yaygın olarak bilinen ve kullanılanları VisTex, MeasTex, Outex, Brodatz, Rotated Brodatz, Colombia vb'dir. Bunlar oldukça ünlü doku karşılaştırma veritabanlarıdır. Çeşitli doku örneklerinden oluşan güzel bir arşiv sunmaları kullanımlarını yaygınlaştırmıştır ve genel bir tarama yapıldığında birçok çalışmada kullanıldıkları görülmektedir. Şekil 7.1'de Brodatz veri tabanından imgeler görülmektedir.



Şekil 7.1. Brodatz veritabanından örnekler

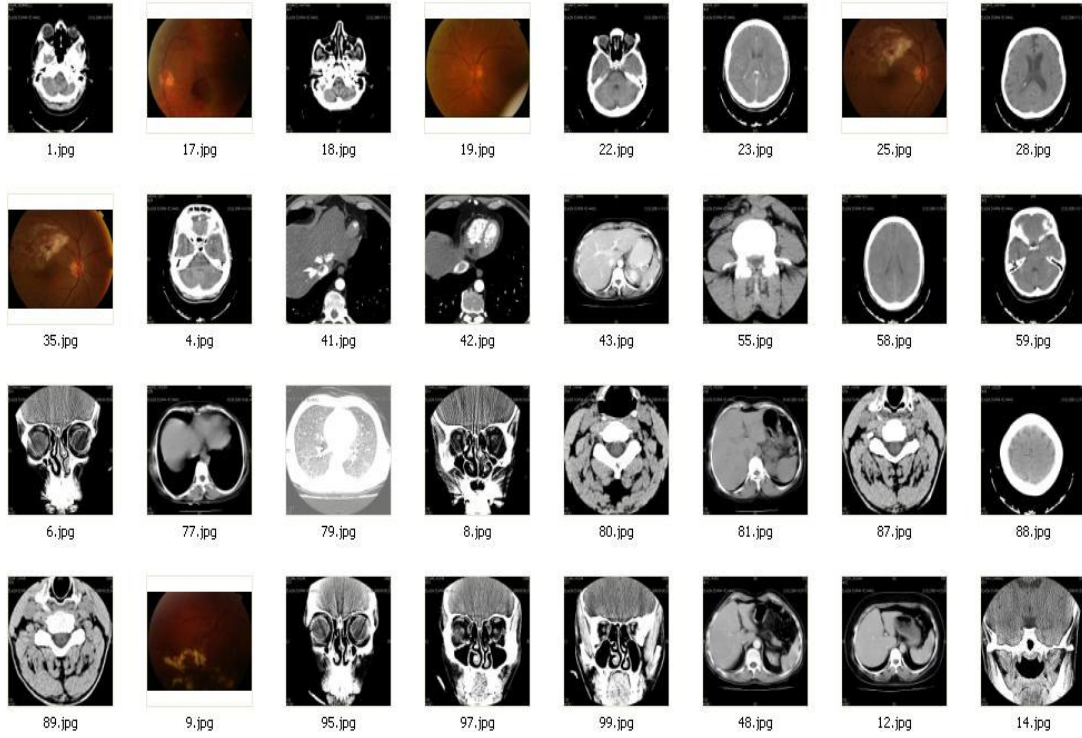
Genelde literatürdeki mevcut algoritmalar genel bir benzerlik analizi için 40-100 görüntüye göre test edilirler. Bu oldukça normaldir, çünkü mevcut CBIR sistemleri, sadece düşük seviye özniteliklerini incelerler. Biyolojik görme olayında görüldüğü üzere sağlam bir içerik geri getirme sistemleri için daha yüksek seviyedeki anlambilimsel öznitelikler gereklidir. Bu nedenle büyük veri tabanları için sadece ilkelerin öznitelik diferansiyellenebilirliğine bağlı kalmak yerine öznitelikler arasındaki ilişkileri bulmak daha iyi olur; aksi takdirde üssel başarımda düşüşler görülebilir. QBIC ve Virage'yi de içeren günümüzdeki birkaç sistem 1000 ve üzerinde görüntüler içeren daha büyük ortamlarda işe yararlar. Bu sistemler gerçek zamanda çalışmasa bile olası isteklere karşı hızlı bir cevap vermek için öznitelik verilerini depolarlar. Bu nedenle arşivimizin oluşturulması kolay ama gerçek zaman işlemi ile çalışan sistemi çalıştırması zordur [29].

Tez çalışmamızda bu hazır veritabanlarındaki doku örneklerini yada bu veritabanlarının herhangi bir birleşimini kullanmak yerine, tamamen biyomedikal imgeler baz alınarak yeni bir veritabanı oluşturulmuştur. Böylelikle literatürde yer alan doku benzerlik araştırmalarından farklı olarak gerçek bir biyomedikal veritabanı üzerinde çalışılmıştır. Bu da gelecekteki çalışmalara başlangıç teşkil etmesi açısından önemlidir. Veritabanının boyutları ve karşılaştırma çalışmaları artıkça gerçekten iyi bir görüntü arşivine sahip olunacaktır. Bu yüzden şimdiye kadarki en büyük biyomedikal görüntü arşivlerinden biri oluşturulmuştur.

Veritabanımızda kullanılmak üzere yaklaşık olarak 8500 adet biyomedikal image arşivlenmiştir. Arşivimiz "Beyin", "Akciğer", "Kemik", "Göz" ve "Sinüs" resimlerinden oluşmaktadır. Arşivdeki resimler 24 bit derinliğinde ve "jpeg" formatındadır. Bu imgelerden çalışmalar sırasında örnek küçük veritabanları oluşturulup yöntemler bu küçük veritabanları üzerinde denenmiştir. Arşivdeki image sayısının fazla olması istendiğinde karmaşıklığı artırmak ve dolayısıyla oluşturulan benzerlik sisteminin değerlendirme sonuçlarının doğruluğu açısından önemlidir.

Bu kısımda biyomedikal içeriğe sahip olan veri tabanımız üzerinden öznitelik çıkarımı algoritmalarının başarımlarını incelenmektedir. Veritabanındaki imgeler Elazığ Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nden alınmıştır. Yöntemler rengi, şekilsel özellikleri, çözünürlüğü,

görüş alanı açısını ya da aydınlatmayı kontrol eden özel bir ortam oluşturulmaksızın denenmiştir. Şekil 7.2’de oluşturulan imge veritabanından bir kesit görülmektedir.



Şekil 7.2. Oluşturulan veritabanından örnek bir kesit

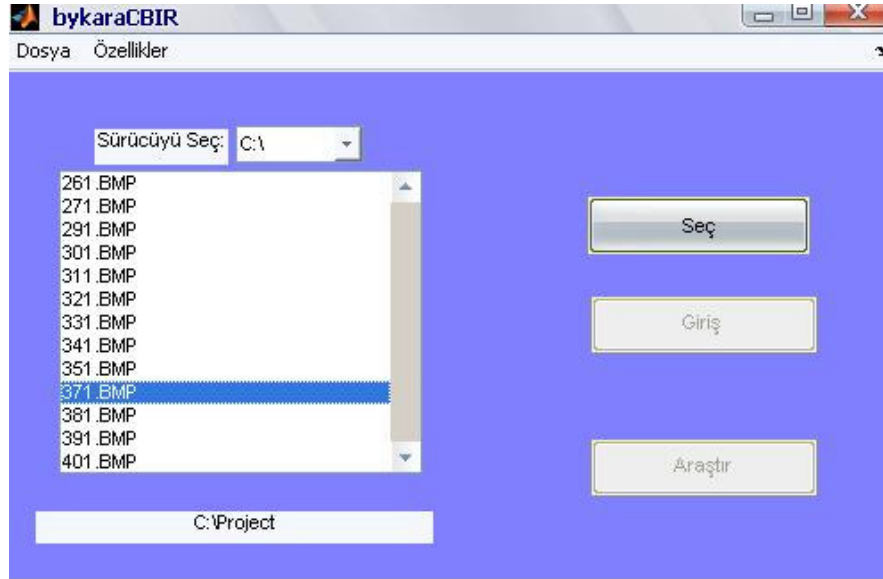
7.3. Tasarlanan Sistem ve Materyal

Bu bölümde tez çalışması kapsamında kullanılan materyal, yöntem ve sistem hakkında bilgiler verilecektir.

Tez çalışması süresince istatistiksel doku analizi yöntemlerinden Gri Seviye Eş Oluşum Matrisleri, Dalgacık Dönüşümü, Gri Seviye Dizi Uzunluğu Matrisleri ve Gabor yöntemleri için ayrı ayrı yazılımlar gerçekleştirilmiştir. Benzerlik değerlendirmesi için kullanılan kriterler için de benzer şekilde yazılımlar üretilmiştir. Bunlar, öklit mesafesi, minkovski metriği, Hamming ve Manhattan(City Block) metrikleridir. Bu yöntemler için geliştirilen yazılımın hangi kriterlere göre gerçekleştiği bir sonraki bölümde sunulacaktır.

Uygulamalar MATLAB 2007 programı kullanılarak yapılmıştır. Uygulamalar kapsamında kullanılan sistem özellikleri ise şöyledir; işlemci AMD Turion 64 X2 1.6Ghz, Ram 1GB, İşletim sistemi Windows XP Service Pack2.

Tezin genel amacı biyomedikal imgelerin dokusal bazdaki benzerliklerinin saptanmasıdır. Burada kullanılan yöntem ve algoritmaların başarımları seçilen örnek alt veritabanı üzerinden değerlendirilir. Yukarıda bahsedilen dört yöntem için geliştirilen yazılımlar ile seçilen bir örnek giriş imgesi için bir özellik vektörü oluşturulmaktadır. Daha sonra imge veritabanı arşivimizde yer alan imgelerin özellikleri hesaplanarak örnek imgeninkiler ile karşılaştırılır. Karşılaştırılma işlemi yukarıda söz edilen benzerlik ölçüm metrikleri kullanılarak yapılır. Özellik vektörünün oluşturulması her yöntem için farklıdır. Bu durum sonraki bölümde izah edilecektir.



Şekil 7.3. Doku tabanlı bir CBIR sistemi Matlab arayüzü

Dokunun sınıflandırılmasında üç temel yaklaşım söz konusudur. Bunlar; Yapısal Yaklaşım, İstatistiksel Yaklaşım ve Hibrid Yaklaşım'dır. Tez bu yöntemlerden "İstatistiksel Yaklaşım" ile ilgilenmektedir. İstatistiksel Yaklaşım ise üç kısma ayrılmaktadır; "Uzaysal Alan Metotları", "Sinyal İşleme Metotları" ve "Model Tabanlı Yöntemler". Özel olarak tezin ilgilendiği yöntemler; "Uzaysal Alan Metotları" içerisinde yer alan Gri Seviye Eş Oluşum Matrisleri, ve Gri Seviye Dizi Uzunluğu Matrisleri ve

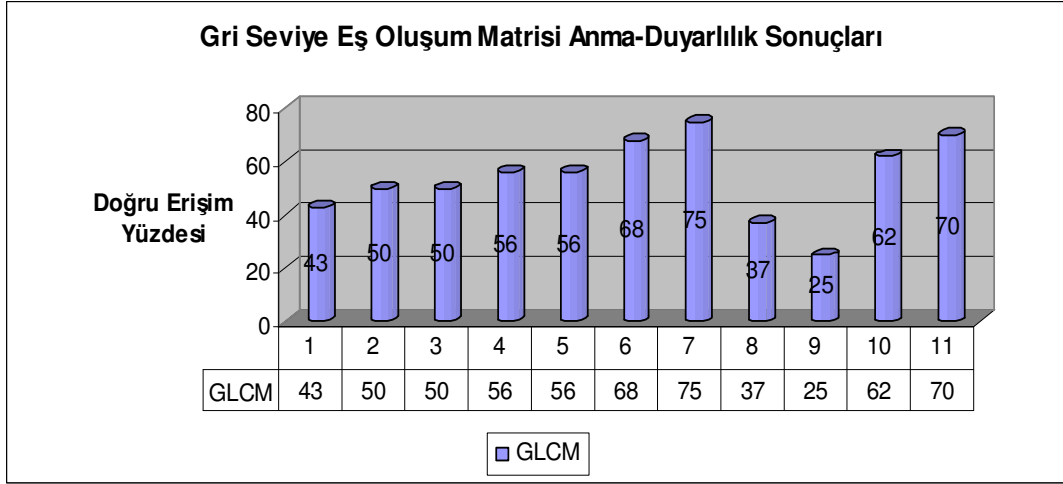
“Sinyal İşleme Metotları” içerisinde yer alan Dalgacık Dönüşümü ve Gabor yöntemleridir. Bu kısımda kullanılan bu yöntemler, yöntemlerin özellikleri, öznitelik vektörlerinin oluşturulması vb açılardan ele alınacaktır.

Uzaysal alan metotlarında öznitelikler, bazı istatistikler sonucunda elde edilir. İnsan görme sistemi de bu istatistiksel bilgilere duyarlıdır. Bu tür istatistiklerin örnekleri, gri seviye eş oluşum matrisi ve gri seviye varyans matrisi, gri seviye dizi uzunluğu matrisleridir. İmgenin geneli üzerinde olasılıksal bir hesaplama sonucu bilgiler sunan uzaysal alan metotları frekans tabanlı metotlardan ayırırlar ve görsel sistemle ve alt bant resimlerle herhangi bir işlem yürütmezler.

7.4. Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi Uygulaması

İmgelerin gri seviye bağımlılıklarının istatistiksel bir sonucunu gösteren bu matris, entropi, enerji, zıtlık, korelasyon ve homojenlik gibi öznitelikler hakkında bilgi verir. Tez süresince gri seviye eş oluşum matrisinin tüm sağladığı öznitelikler kullanılmıştır. Uygulamalarda genel olarak bu matrisin ”Homojenlik”, ”Zıtlık”, ”Enerji” ve ”Korelasyon” özelliklerinin kullanımı yeterli görülmüştür. Özellik vektörü, gri seviye eş oluşum matrisi ile sağlanan tüm özelliklerden oluşturulduğu durumda bile imge benzerlikleri değişmemiş, yaklaşık olarak aynı kalmıştır. Dolayısıyla bu matris kullanıldığında özellik vektörümüz; ”Homojenlik”, ”Zıtlık”, ”Korelasyon” ve ”Enerji” sonuçlarının birleşimi şeklindedir. Bu özniteliklerin tanımlamaları ve formülleri 5.18, 5.19, 5.20 ve 5.21’de verilmiştir.

Şekil 7.4 gri seviye eş oluşum matrisinin hesaplanılan dokusal özelliklerine göre anma ve duyarlılık başarımlarını göstermektedir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen imgelere doğru erişim yüzdesi grafiğe yansıtılmıştır.



Şekil 7.4. Gri seviye eş oluşum matrisi anma-duyarlılık sonuçları

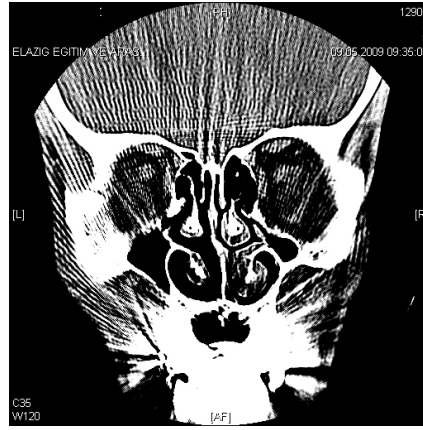
Burada oluşturulan 11 adet sonuçta gri seviye eş oluşum matrisinin farklı farklı öznitelikleri hesaplanmış ve buna göre bir erişim analizi yapılmıştır. Tablo 7.1’de kullanılan GLCM öznitelikleri verilmiştir. Her bir erişim için kullanılan öznitelik isimleri şöyledir:

- A. Otokorelasyon
- B. Kontrast
- C. Korelasyon
- D. Cluster Prominence
- E. Cluster Shade
- F. Dissimilarity
- G. Enerji
- H. Entropi
- İ. Homogeneity
- J. Maximum Probablity
- K. Varyans

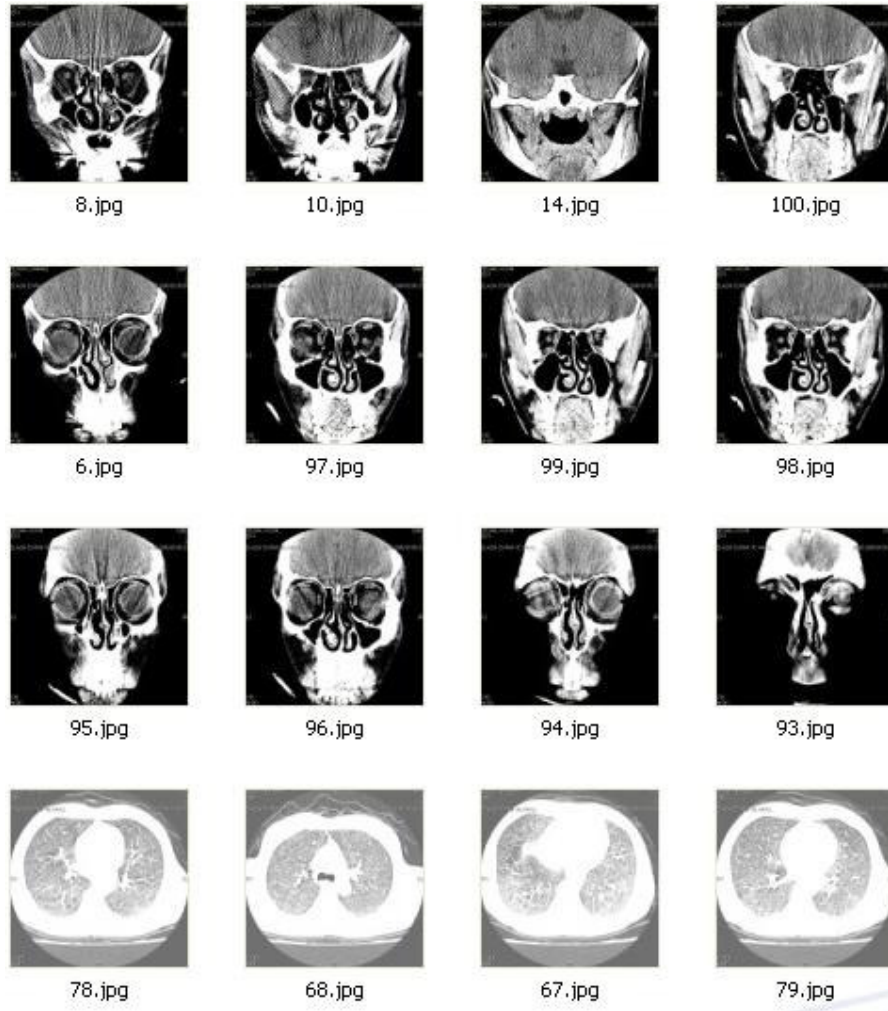
Tablo 7.1. GLCM için kullanılan öznitelikler çizelgesi

	A	B	C	D	E	F	G	H	İ	J	K
1	*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	--	--	--	--	--	*	*	*	*	*	--
4	*	*	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5	*	*	*	--	--	--	--	--	--	--	--
6	--	*	*	--	--	--	*	*	*	--	--
7	--	*	*	--	--	--	*	--	*	--	--
8	--	--	--	--	--	--	*	--	--	--	--
9	--	--	--	--	--	--	--	*	--	--	--
10	--	--	--	--	--	--	--	--	*	--	--
11	--	*	--	--	--	--	--	--	--	--	--

İçerik tabanlı görüntü erişimi uygulamalarında, gri seviye eş oluşum matrisinin genellikle kullanılan özellikleri yukarıdaki grafikte 7. sırada gösterilen “Kontrast”, ”Korelasyon”, ”Enerji” ve ”Homojenlik” öznitelikleridir. Yapılan analizlerde de en iyi erişim başarımını bu özellikler sağlamıştır.



Şekil 7.5. Örnek sorgu resmi



Şekil 7.6. GLCM yöntemine göre bulunan sonuçlar

Şekil 7.6’da şekil 7.5’te verilen örnek sorgu imgesi için GLCM yöntemi uygulanarak elde edilen imgeler yer almaktadır. GLCM yönteminin uygulamalarımızda en iyi doğruluk yüzdesi %75 olarak tespit edilmiştir. Bu değere ulaşırken kullanılan GLCM öz nitelikleri Tablo 7.1’de 7. durumda verilmiştir.

7.5. Gri Seviye Dizi Uzunluğu Matrisi Uygulaması

Gri seviye dizi uzunluğu matrisi bir önceki kısımda anlatılan gri seviye eş oluşum matrisi gibi imgenin istatistiksel bazdaki bazı özelliklerinin ortaya çıkarılmasında sıklıkla kullanılan bir yapı arz etmektedir. Gri seviye dizi uzunluğu matrisinin sunduğu özellikler şunlardır;

- Short Run Emphasis (SRE)
- Long Run Emphasis (LRE)
- Gray-Level Nonuniformity (GLN)
- Run Length Nonuniformity (RLN)
- Run Percentage (RP)
- Low Gray-Level Run Emphasis (LGRE)
- High Gray-Level Run Emphasis (HGRE)
- Short Run Low Gray-Level Emphasis (SRLGE)
- Short Run High Gray-Level Emphasis (SRHGE)
- Long Run Low Gray-Level Emphasis (LRLGE)
- Long Run High Gray-Level Emphasis (LRHGE)

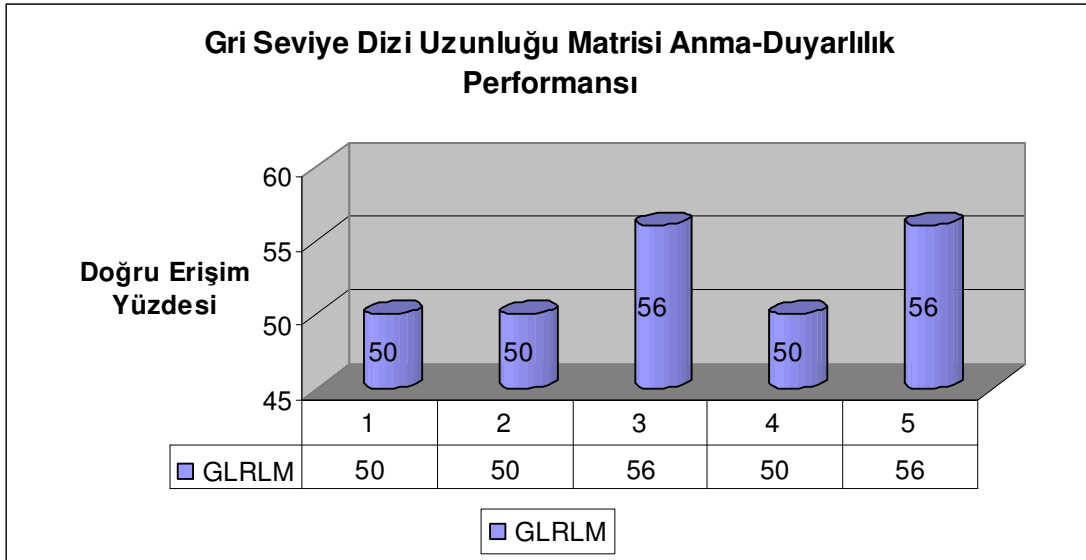
Bu özelliklerin hangi formüllerle hesaplandığı bölüm 5.5 ’de anlatılmıştır. Tezde geliştirilen yazılımlarda bu matrisler kullanılırken özellik vektörü oluşturulurken seçimlik olarak SRE, LRE ve GLN özelliklerinin bir birleşimi alınmıştır. Sorgu imgesinin oluşan özellik vektörü, veritabanındaki imgeler için yine aynı yapıda oluşturulmuş özellik vektörleri ile karşılaştırılarak benzerlik hesabına tabi tutulmuştur. Kullanılan yöntemler arasında en uzun çalışma zamanına sahip olan yöntem bu yöntemdir.

Aşağıdaki grafik gri seviye dizi uzunluğu matrisini baz alarak bir anma-duyarlılık erişim sonucunu göstermektedir. Gri seviye dizi uzunluğu matrisi ile birlikte 11 öz nitelik

hesaplanmaktadır. Bu özniteliklerden bölüm 5.5'te, kullanılan yöntemler kısmında bahsedilmiştir. Grafiğe 5 farklı şekilde oluşturulan öznitelik ve öznitelik gruplarının sonuçları yansıtılmıştır.

Kullanılan öznitelikler şöyledir;

- 1.GLN
- 2.GLN, LRE
- 3.GLN, LRE, SRE
- 4.SRE, GLN, LRE, RLN
- 5.SRE, GLN, LRE, RLN, LGRE, SRHGE



Şekil 7.7. GLRLM yöntemi için anma duyarlılık başarımları

- A.Short Run Emphasis (SRE)
- B.Long Run Emphasis (LRE)
- C.Gray-Level Nonuniformity (GLN)
- D.Run Length Nonuniformity (RLN)
- E.Run Percentage (RP)
- F.Low Gray-Level Run Emphasis (LGRE)
- G.High Gray-Level Run Emphasis (HGRE)
- H.Short Run Low Gray-Level Emphasis (SRLGE)
- İ.Short Run High Gray-Level Emphasis (SRHGE)

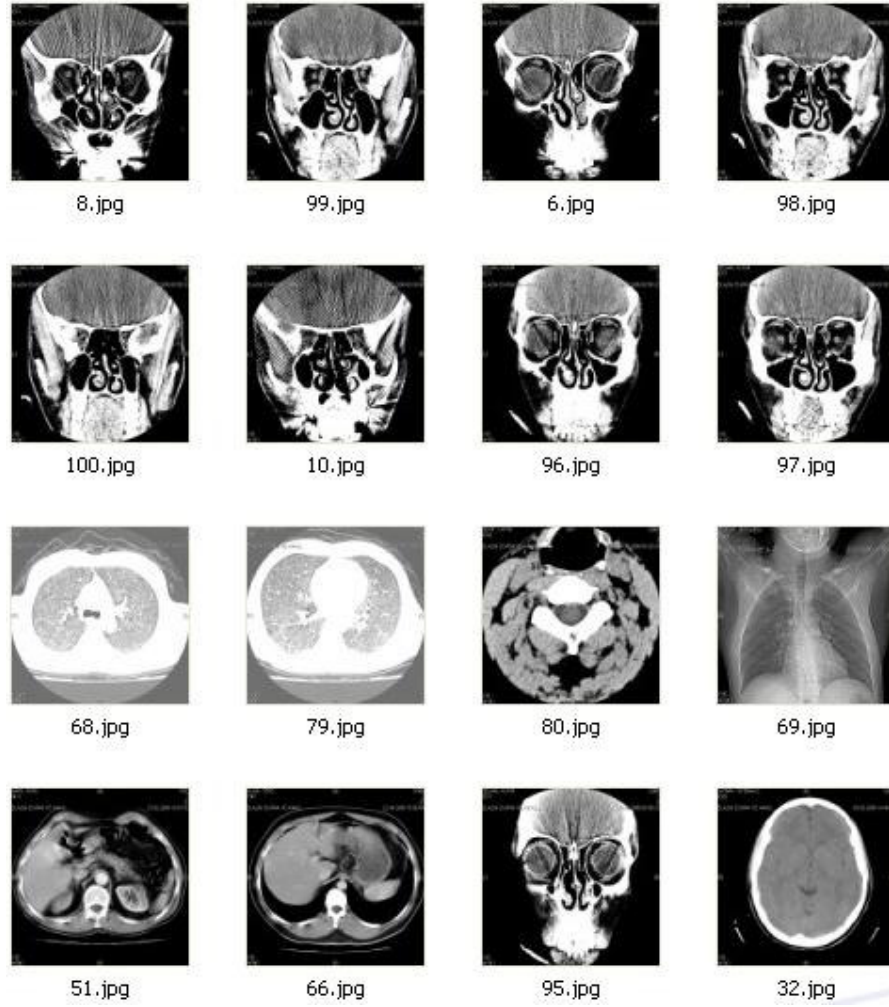
J.Long Run Low Gray-Level Emphasis (LRLGE)

K.Long Run High Gray-Level Emphasis (LRHGE)

Tablo 7.2. GLRLM yöntemi için kullanılan öznitelikler çizelgesi

	A	B	C	D	E	F	G	H	İ	J	K
1	--	--	*	--	--	--	--	--	--	--	--
2	--	*	*	--	--	--	--	--	--	--	--
3	*	*	*	--	--	--	--	--	--	--	--
4	*	*	*	*	--	--	--	--	--	--	--
5	*	*	*	*	--	*	--	--	--	--	--

Şekil 7.5 ‘teki örnek sorgu imgesi için, GLRLM yöntemi kullanılarak elde edilmiş imgeler şekil 7.8’ de verilmiştir. GLRLM yöntemi için en iyi doğruluk yüzdesi yüzde %56 olarak tespit edilmiştir. Uygulamalarda en iyi doğruluk başarımına ulaştıran GLRLM öznitelikleri GLN, LRE ve SRE olarak görülmüştür.(Tablo 7.2)



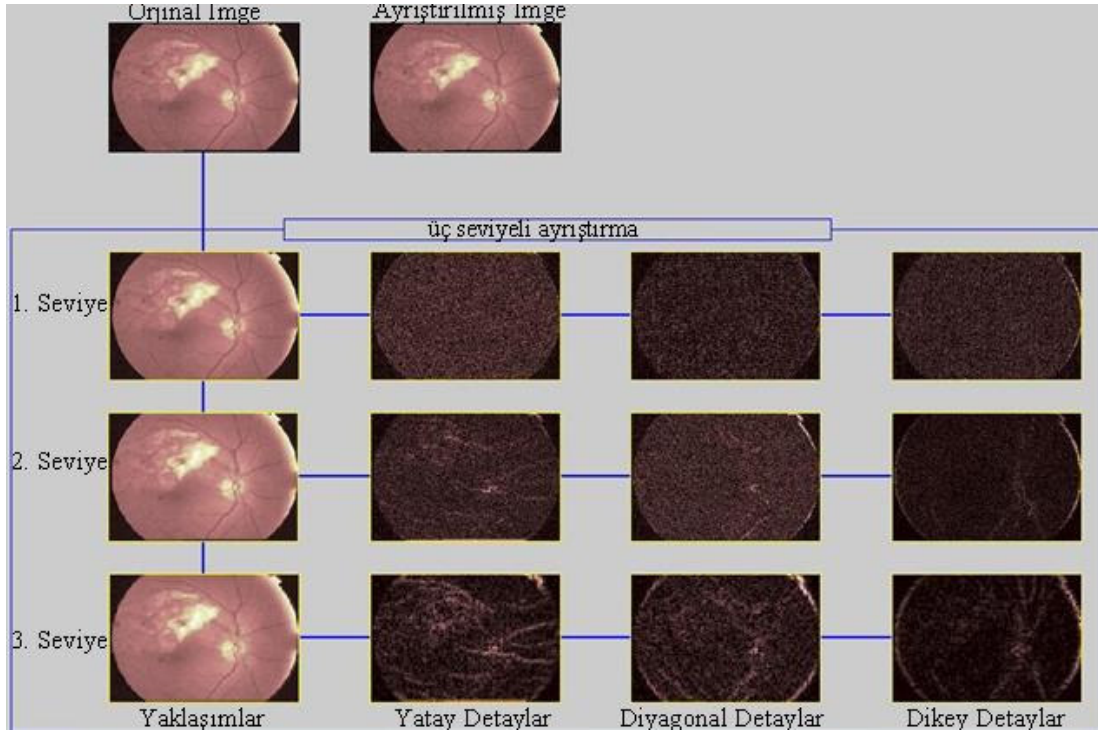
Şekil 7.8. GLRLM yöntemi ile bulunan resimler

Uzaysal alan metotlarından farklı olarak sinyal işleme metotları, frekans tabanlı metotlar olup görsel sistemi model alırlar ve görüntüleri, çok sayıda bant geçiren filtreli görüntülere bölmektedirler. Bu filtreli görüntülerin her biri, belli dokusal özelliklere benzeyecek olan bir dizi frekans(boyut) ve yönelimin üzerinde yoğunluk varyasyonları içerirler. Bu çalışmada sinyal işleme metotları arasından Dalgacık Dönüşümleri ve Gabor yöntemi incelenmiş ve çalışılmıştır. Son yıllarda Dalgacık teorisinin gelişimiyle birlikte bu metoda karşı özel bir ilgi oluşmuştur. Dokulu görüntülerin sınıflandırılmasında ve bölünmesinde Dalgacık dönüşümüne ve gabor filtresine dayanan çok sayıda algoritma önerilmiştir. Tez kapsamında bu iki yöntemle ilgili çalışılmış ve yöntemlerin etkinliği ispatlanmıştır.

7.6. Dalgacık Dönüşümü Uygulaması

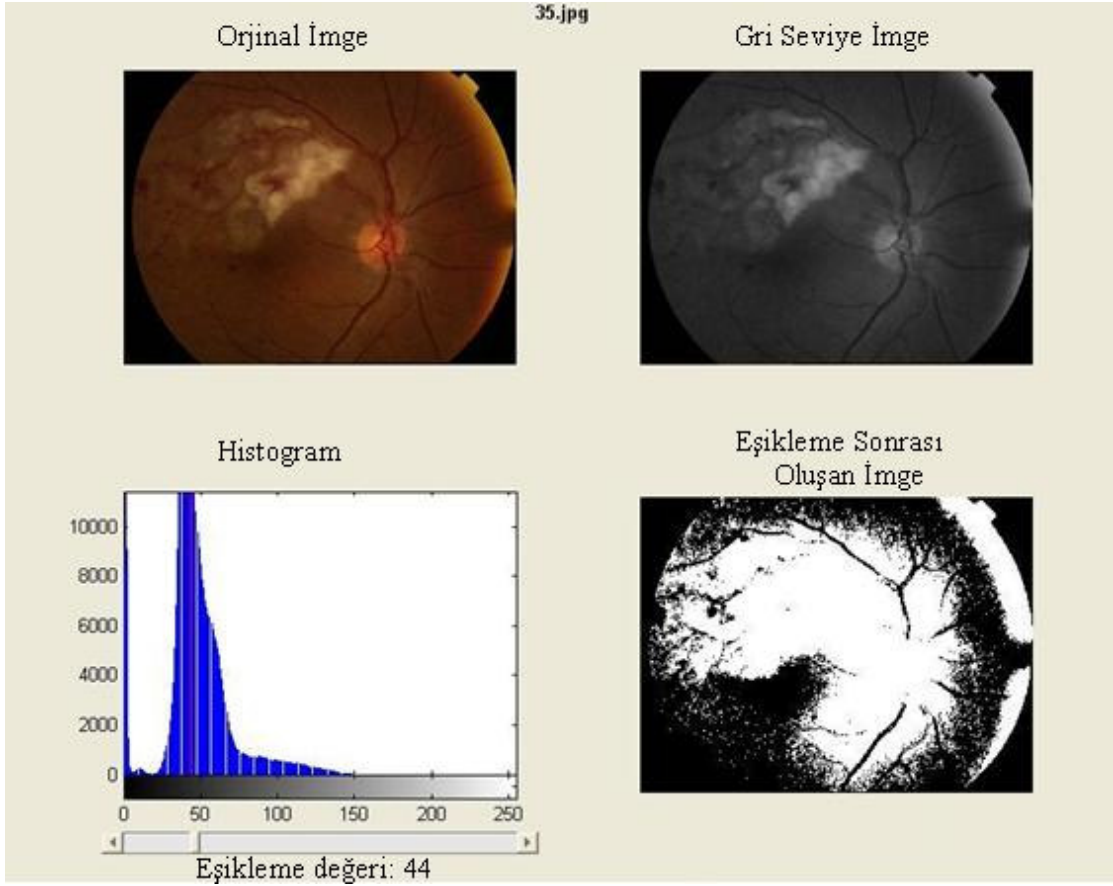
Dalgacıklar, veriyi farklı frekans bileşenlerine ayıran ve sonra kendi ölçekleriyle eşleştirilmiş bir çözünürlüğe sahip bileşenler üzerinde çalışan matematiksel fonksiyonlardır. Dalgacık dönüşümü ise, fonksiyonları, operatörleri veya veriyi farklı frekanstaki bileşenlerine ayıran ve ayrı ayrı her bileşen üzerinde çalışmamıza izin veren bir araçtır [37]. Son yıllarda imge sıkıştırma, örüntü tanıma gibi birçok imge işleme alt alanlarında dalgacık dönüşümü uygulamalarının sayısının hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir.

Tez çalışmamızda üç seviyeli bir Ayrık Dalgacık Dönüşümü kullanılmıştır. İmgeler üç seviyeye kadar ayrıştırılmış ve her seviyede imgeler için ayrı ayrı “Enerji” ve “Standart Sapma” değerleri hesaplanmıştır. Oluşturulan sistemde özellik vektörleri belirlenirken bu üç seviyedeki Enerji ve Standart Sapma değerlerinin bir dizisi kullanılmıştır. Enerji değerleri için ayrı Standart Sapma değerleri içinse ayrı bir öznitelik vektörü oluşturularak sistem güçlendirilmiştir. Çalışmalar sırasında kullanılan Dalgacık Türünün ve yapılan ayrıştırma sayısının sonuçlar üzerindeki etkisinin incelenmesi için de uygulamalar yapılmıştır. Genel olarak hesaplanan değerler “Symlet6” türünde dalgacık kullanılarak bulunmuştur. Çalışmalar sonucunda Dalgacık türünün değiştirilmesinin, benzerlik sonuçlarında sürpriz bir sonuç çıkartmadığı görülmüştür. Aynı durum ayrıştırma sayısı içinde söz konusudur. Yapılan çalışmalarda genellikle iki ya da üç seviye ayrıştırma yapılmaktadır. Burada üç seviyeli bir ayrıştırma yapılmıştır. Şekil 7.9’ da bir iris görüntüsü için symlet 6 türünde ve üç seviyeli bir ayrıştırma sonucu görülmektedir.



Şekil 7.9. Üç seviyeli dalgacık ayrıştırması; yaklaşım, yatay, dikey ve diyagonal bileşenler

Dalgacık dönüşümü uygulamaları sırasında imgeler için enerji ve standart sapma değerleri hesaplanırken eşikleme yöntemi de kullanılmıştır. Eşikleme değerinin hesaplanmasında global eşikleme yöntemi kullanılmış olup eşikleme yönteminin analiz sonuçlarında geri erişim başarımında ciddi bir değişiklik oluşturmadığı saptanmıştır. Şekil 7.10 'da oftalmoskop aletinden alınan bir göz görüntüsü için eşikleme yönteminin uygulanışı ve sonuçları görülmektedir.

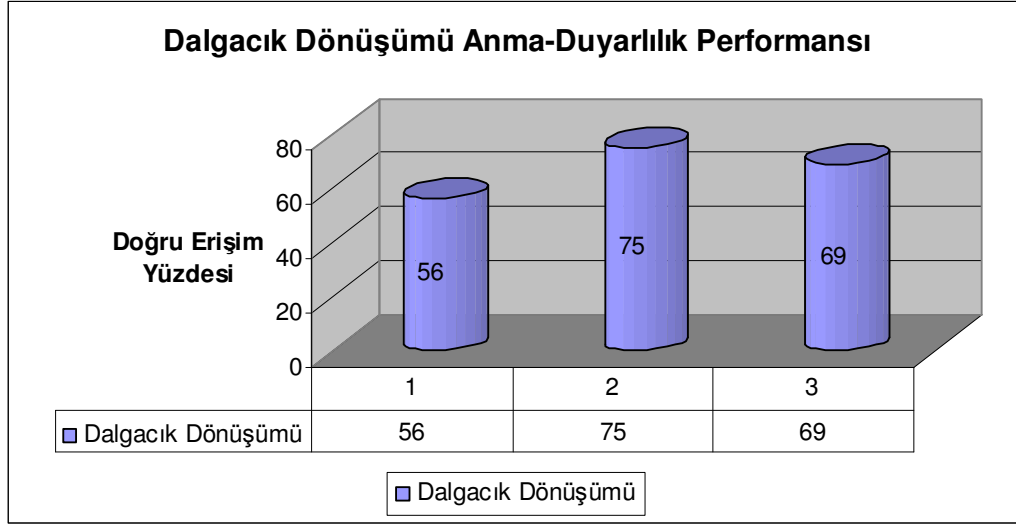


Şekil 7.10. Eşikleme yöntemi

Aşağıdaki grafik Dalgacık Dönüşümü yöntemine göre anma ve duyarlılık başarımını göstermektedir. Erişim değerlendirmesi yapılan geri erişimdeki doğruluğun bir yüzdesini yansıtmaktadır. Yapılan analizlerde, yukarıda da belirtildiği gibi üç seviyeli bir ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmış ve her seviyedeki “Enerji” ve “Standart Sapma” değerleri hesaplanmıştı. Grafikte Enerji, Standart Sapma ve bu iki değer baz alınarak ortalama bir Dalgacık Dönüşümü geri erişim başarımları değeri olarak toplam üç değer elde edilmiştir.

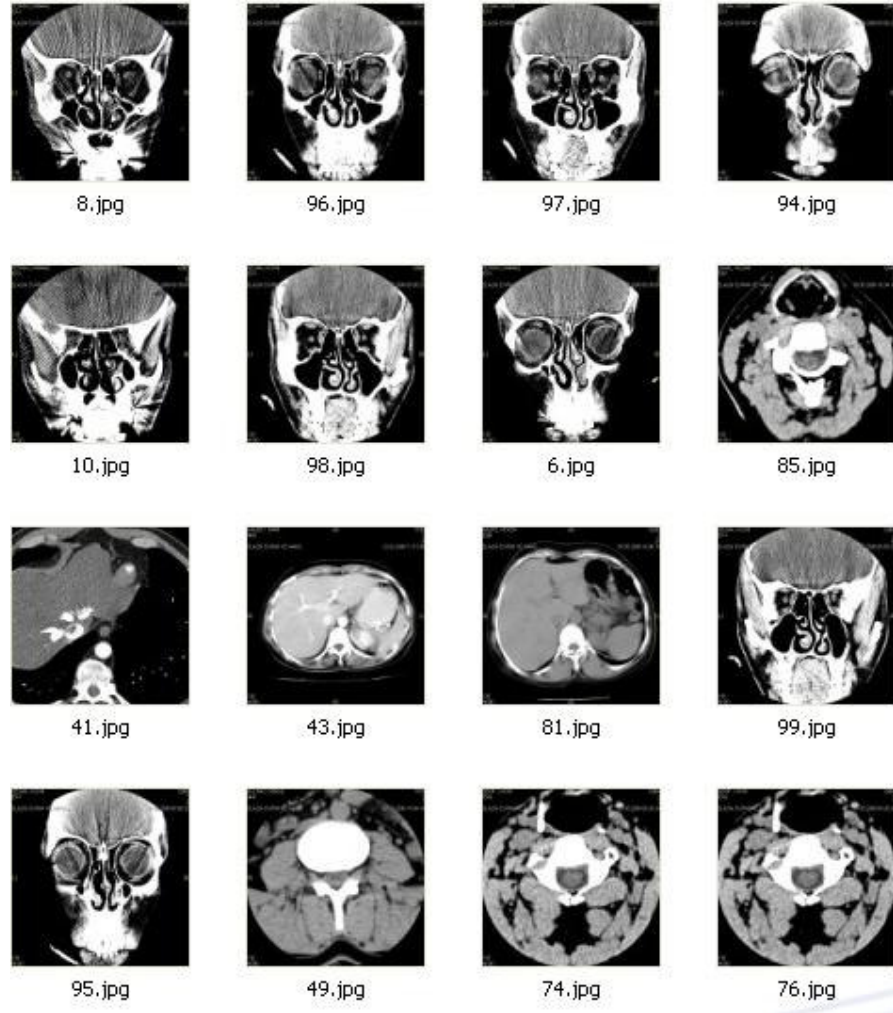
Burada;

- 1.Enerji
- 2.Standart Sapma
- 3.Dalgacık Dönüşümü Ortalama



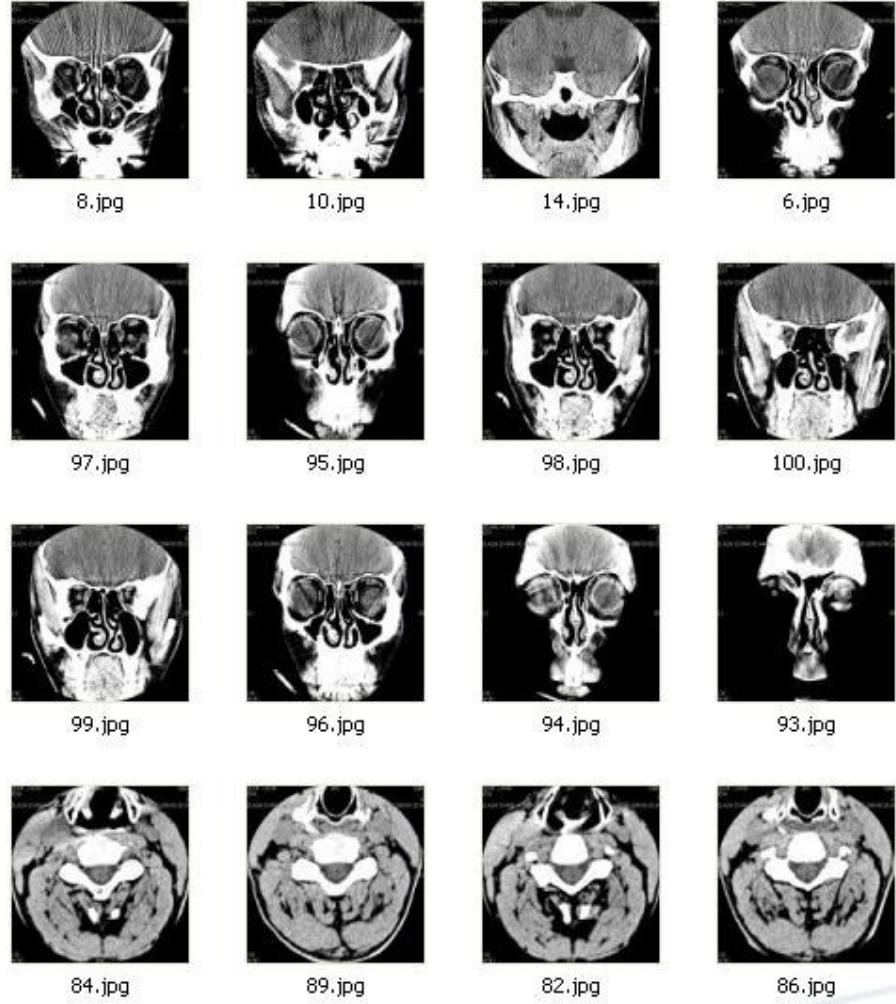
Şekil 7.11. Dalgacık dönüşümü anma-duyarlılık başarımları

Dalgacık dönüşümü ortalama olarak verilen üçüncü durumda; standart sapma ve enerji değerlerinin aritmetik bir ortalaması söz konusu değildir. Hesaplanan enerji ve standart sapma değerlerinin ortalamaları üzerinden bir erişim hesaplaması ve bunun doğruluğunun değerlendirilmesi söz konusudur.



Şekil 7.12. Dalgacık dönüşümü enerji özelliğine göre bulunan resimler

Şekil 7.12’de verilen imgeler, imgelerin her birinin ayrık dalgacık dönüşümü yöntemiyle üç seviyeli ayrıştırma yapılarak her bir seviyede elde edilen enerji değerlerinin, verilen sorgu imgesinin aynı şekilde elde edilmiş enerji değerleri ile karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir. Söz konusu sorgu imgesi şekil 7.5’te verilen imgedir. Burada enerji hesaplamasına dayanan dalgacık dönüşümü başarıımı şekil 7.11’de görüldüğü gibi %56’dır.



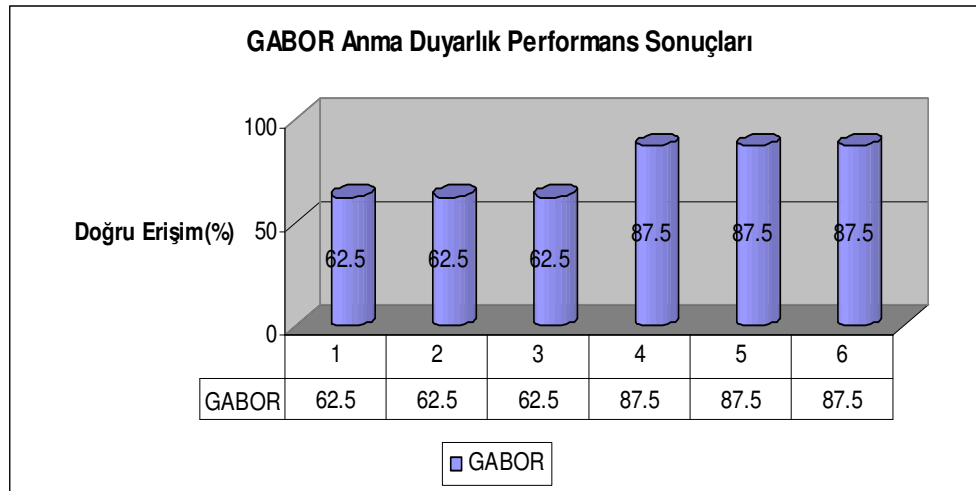
Şekil 7.13. Dalgacık dönüşümü standart sapma özelliğine göre bulunan resimler

Şekil 7.13'te verilen imgeler, imgelerin her birinin ayrık dalgacık dönüşümü yöntemiyle üç seviyeli ayrıştırma yapılarak her bir seviyede elde edilen standart sapma değerlerinin, verilen sorgu imgesinin aynı şekilde elde edilmiş standart sapma değerleri ile karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir. Sorgu imgesi şekil 7.5'te verilen imgedir. Burada standart sapma hesaplamasına dayanan dalgacık dönüşümü başarıımı şekil 7.11'de görüldüğü gibi %75'tir.

7.7. Gabor Dönüşümü Uygulaması

Gabor filtresi görüntü analizinde kullanılan popüler bir araçtır. Bütün görüntünün global bir frekans alanının temsilini belirleyen fourier analizinin aksine gabor filtresi uzaysal alanda bir sonuç vererek belli frekans kuşaklarının gücünü ve görüntü üzerinde her konumdaki yönelimleri tahmini olarak hesaplar. Bu da gabor filtresini güçlü kılmaktadır. Tezde kullanılan yöntemler içerisinde de en iyi geri erişim doğruluk oranına sahip olan yöntem bu yöntemdir.

Şekil 7.14 yapılan gabor hesaplamalarına göre elde edilen anma-duyarlılık erişim başarımını göstermektedir. Hesaplamalarda kullanılan sigma ve teta değerleri aşağıda verilmiştir.

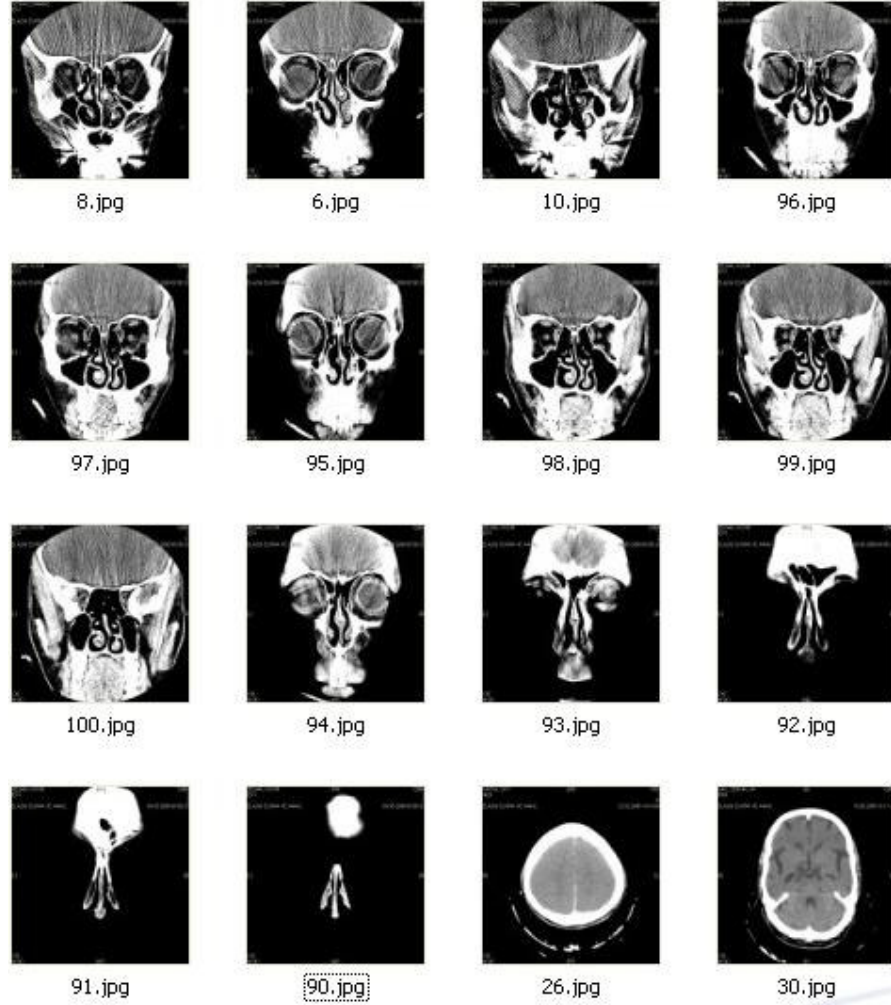


Şekil 7.14. Gabor dönüşümü anma-duyarlılık başarımı

Şekil 7.14'deki durumlar için sigma , θ ve f değerleri şöyledir;

1. Sigma = $\pi / 2$, $\theta = 2\pi / 3$, $f = \pi / 1.2$
2. Sigma = $\pi / 2$, $\theta = 2\pi / 3$, $f = \pi / 1.3$
3. Sigma = $\pi / 2$, $\theta = 2\pi / 3$, $f = \pi / 1.4$
4. Sigma = $\pi / 2$, $\theta = 2\pi / 3$, $f = \pi / 1.5$
5. Sigma = $\pi / 2$, $\theta = 2\pi / 3$, $f = \pi / 1.6$
6. Sigma = $\pi / 2$, $\theta = 2\pi / 3$, $f = \pi / 1.7$

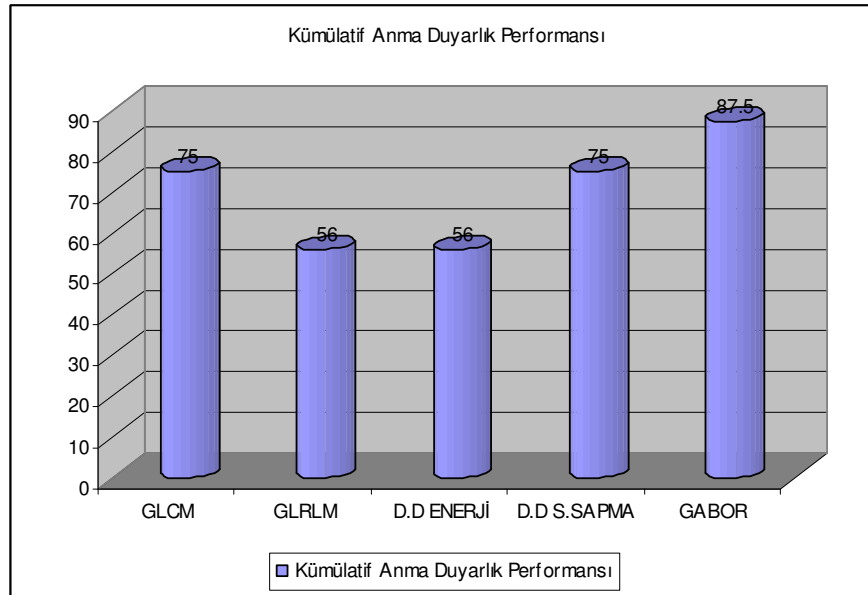
Şekil 7.5'teki örnek sorgu imgesi baz alınarak Gabor yöntemi ile yapılan geri erişimde elde edilen imgeler şekil 7.15'te verilmiştir. Yapılan uygulamalarda Gabor dönüşümünün başarımı en iyi durumda %93 seviyelerine ulaşmıştır. Şekil 7.15'te görüldüğü üzere yapılan örnek erişim için doğruluk oranı %87.5'tir.



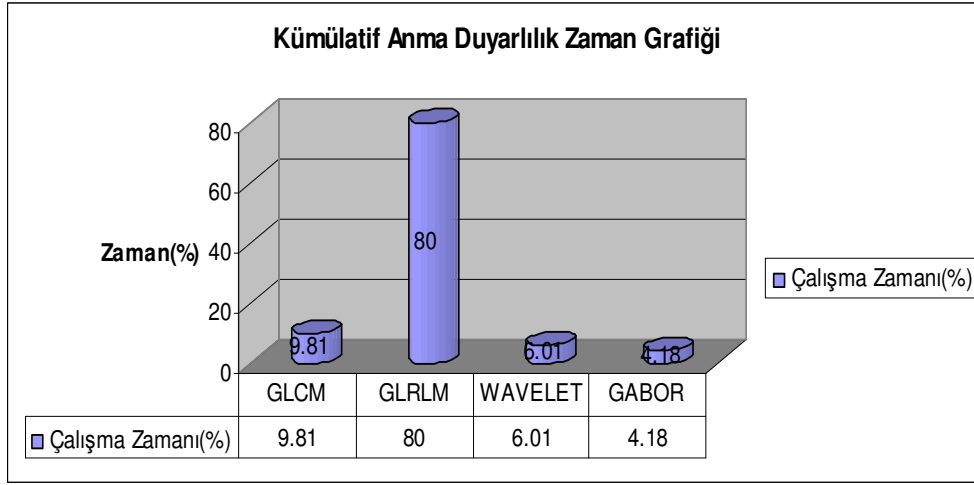
Şekil 7.15. Gabor dönüşümü sonucu bulunan resimler

7.8. Yöntemlerin Karşılaştırılması

Tezde kullanılan yöntemler, uzaysal alan metotları kapsamında incelenen ‘gri seviye eş oluşum matrisi’ ve ‘dizi uzunluğu matrisi’; sinyal işleme kapsamında açıklanan ‘Dalgacık dönüşümü’ ve ‘gabor’ yöntemleridir. Yöntemler ve yöntemlerin uygulanmaları sonucunda oluşan durumlar önceki bölümlerde anlatılmıştır. Sonuçlardan da görüleceği üzere uygulaması yapılan bu dört yöntemden en iyi başarıma sahip olan yöntem ‘Gabor’ yöntemidir. Şekil 7.16 kullanılan yöntemlerin kümülatif anma-duyarlık başarımını göstermektedir. Dalgacık dönüşümü yöntemi, enerji ve standart sapma hesaplamalarına göre ayrılmış ve buna göre değerlendirilmiştir. D.D Enerji, dalgacık dönüşümü enerji hesaplamasını, D.D.S.Sapma ise dalgacık dönüşümü standart sapma hesaplamasını temsil etmektedir. Gri seviye eş oluşum matrisi ve gri seviye dizi uzunluğu matrisi için elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan, hazır veri tabanlarını kullanan önceki çalışma sonuçlarıyla benzer oranlardadır. Gri seviye dizi uzunluğu matrisi en uzun çalışma zamanına sahip yöntemdir. Yine kodlaması en zor olan yöntemde bu yöntemdir. Dalgacık dönüşümü gabor yönteminden sonra en iyi yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 7.17 yöntemlerin toplam uygulama zamanı baz alınarak her bir yöntemin kullandığı zamanın yüzdesel olarak oranını göstermektedir. En hızlı yöntem gabor, en yavaş yöntem ise gri seviye dizi uzunluğu matrisidir.



Şekil 7.16. Kümülatif anma duyarlık başarımı



Şekil 7.17. Kullanılan yöntemler için kümülatif anma duyarlılık çalışma zaman grafiği

Şekil 7.17’de örnek bir veritabanı üzerinden yapılan erişimin yöntemlere göre harcanan süresi gösterilmektedir. Aynı örnek sorgu resminin benzerlerinin araştırılmasında yöntemlerden en iyi geri erişim zamanı gabor yöntemine aittir, en uzun geri erişim süresi ise gri seviye dizi uzunluk matrisi yönteminde görülmektedir. Toplam sürenin %80’i GLRLM tarafından kullanılmaktadır. Bunun sebebi içerdiği matris hesaplamalarının çok fazla olmasıdır.

8. SONUÇ

Görüntü erişimi için oluşturulan sistemler günümüzde metin tabanlı olmaktan çıkıp içerik tabanlı bir hale gelmeye başlamıştır. Kullanılan materyalin doğasından kaynaklanan sorunlar nedeniyle tam olarak etkin bir bilgi erişimi sistemi oluşturulamamaktadır. Karşı karşıya bulunulan sorunların kökeninde makineler tarafından tam olarak taklit edilemeyen insan algısı sonucu ortaya çıkan görsel anlayış yatmaktadır. Burada görüntü erişimle ilgili temel sorunlar olarak farklı kullanıcı beklentileri, karmaşık kullanıcı ara yüzleri, tatmin etmeyen sorgulama başarımı, sisteme yöneltilen sorgulardan elde edilen düşük kalitede sonuç ve değerlendirme yöntemlerinin eksikliği karşımıza çıkmaktadır. Bu problemlerin çözümü farklı disiplinlerden uzmanların bir araya gelmesiyle gerçekleştirilecek projelere dayalı oluşturulacak yeni sistemlerle mümkün görünmektedir.

QBIC ve benzeri veri tabanları, veri ile sorgulama sistemi arasında dar bir veri değişim kanalı oluşturmaktadır. Var olan veri tabanına görüntü erişim modeli eklenerek oluşturulan, görselleştirme teknikleri zayıf ve bilgi yönetiminden yoksun bu sistemlerde genellikle başarımlar düşük olmaktadır. Kullanıcılar daha gelişmiş sistemlere gereksinim duymaktadırlar. Gelecekte meydana getirilecek sistemlerin mevcut özelliklerine ek olarak kullanıcı etkileşiminin yüksek olduğu, kullanıcı etkileşiminden ortaya çıkan özelliklerle ilgili peş peşe işlemler gerçekleştirebilen, veri düzenlemesini geri plana atıp kullanıcı ya da kaynak bilgisini ön plana çıkarabilen bir yapı sergilemesi gerekmektedir.

Ülkemizde de konu ile ilgili bazı çalışmaların yapıldığı bilinmekle birlikte, pratik yarar sağlayacak ve sorunların çözümüne yol gösterecek projelere gereksinim duyulmaktadır. Görsel bilgi erişimiyle ilgili sorunların üzerine gidilmesi ile kullanıcıların zaman ve emek kaybı en aza indirgenecek ve görsel bilgi ile ilgilenen kişilerin daha verimli çalışabilmelerine olanak tanınacaktır.

Bu tez çalışmasında literatürde pratik anlamında araştırma ve uygulama eksikliği görülen biyomedikal alanda çalışılmıştır. Yaygın olarak kullanılan Brodatz benzeri hazır bir veritabanı kullanmaktansa yöntemleri, kendi oluşturduğumuz bir gerçek veritabanı üzerinde denemek ve sonuçlarını değerlendirmek istenmiştir.

Tez çalışmamızda yalnızca istatistiksel yöntemlerle çalışılmış ve dokusal özelliklerle ilgili istatistiki anlamda ilgilenilmiştir. Yapılan çalışma, tıbbi uygulamalarda kullanılabilecek, biyomedikal imge veritabanları üzerinde içerik tabanlı görüntü erişim sistemleri mantığına göre çalışabilecek bir yazılım için altyapı oluşturmaktadır. Uygulamalarda, GLCM, GLRLM, Dalgacık Dönüşümü ve Gabor yöntemleri kullanılmıştır.

Yöntemlerden en yüksek başarıma sahip yöntem Gabor yöntemidir. Bu yöntem aynı zamanda en kısa çalışma zamanına sahip olan yöntemdir. Yöntemler arasında en düşük başarıma sahip yöntem ise GLRLM yöntemidir. Bu yöntem en uzun çalışma zamanına sahip olan yöntemdir.

Gelecekte çalışmalar daha da detaylandırılıp veritabanı içerisine patolojik ve patolojik olmayan imgeler eklenerek patolojik doku teşhisine yönelik ya da daha spesifik olarak herhangi bir hastalığın varlığının teşhisine yönelik çalışmalar yapılabilir.

İçerik tabanlı görüntü erişim sistemlerinin yapısı detaylıca incelendiğinde ana yaklaşım olarak, “doku”, “şekil” ve “renk” özellikleri ile ilgilendiği söylenebilir. Tez çalışmamızda biyomedikal bir içerik tabanlı erişim sistemi için “doku” öznitelikleri bazında çalışılmıştır. İlerleyen zamanda çalışmalar daha da genişletilerek diğer özelliklerde analiz edilebilecektir.

KAYNAKLAR

1. İ. Soydal, U. Sezen, U. Al, "İçerik Tabanlı Görüntü Erişim Sistemleri", Bilgi Dünyası, 6(2): 155-170, Ekim 2005.
2. L. Van Gool, P. Dewaele and A. Oosterlinck, "Survey-texture analysis anno," Computer Vision, Graphics and Image Processing, vol. 29, pp.336-357, 1985.
3. C. C. Venters, M. Cooper, "A review of content-based image retrieval systems," JISC Technology Applications Programme, University of Manchester, 1999.
4. J. P Eakins, "Towards intelligent image retrieval," Pattern Recognition, 2002.
5. W. Kong, "On solving 2D and 3D puzzles using curve matching," MS thesis Brown University, May 2002.
6. L. G. Shapiro, G. C. Stockman, Computer Vision. Prentice Hall Inc., 2001.
7. A. D Bimbo, M Kaufmann, Visual Information Retrieval. Morgan Kaufmann Publishers, 1999.
8. J. Eakins, M. Graham, "Content-based image retrieval," A report to the JISC Technology Applications Programme, University of Northumbria at Newcastle, Jan. 1999.
9. A. Semulders, R. Jain Image Databases and Multi-Media Search. World Scientific, 1997.
10. Rui, Y., Huang, T.S. ve Chang, S.-F. (1997). Image retrieval: past, present and future. International Symposium on Multimedia Information Processing, Taiwan.
11. S. Siggelkow, (2002). "Feature histograms for content-based image retrieval". PhD Thesis. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg/Almanya.

<http://www.doc.ic.ac.uk/~xh1/Referece/image-retrival/Feature-Histograms-for-Content-Based-Image-Retrieval.pdf>

12. A. Alpkoçak, “Koşut Çoklu Ortam Bilgi Gösterim ve Erişim Dizgesi”, Doktora Tezi, 1997.

13. H. Chen, 2001, “An Analysis of İmage queries in the field of art history”, American Soc. for Inf. Sci. and Tech., 260-273.

14. P. Androustos, A. Kushki, K.N. Plataniotis ve A.N.Venetsanopoulos, 2005, “Aggregation of Color and Shape features for hybrid Query generation in content based visual informatin retrieval”, Signal Processing, 85(2), 385-393.

15. Niu, Y., Özsu, M. T., Li, X., 1995, A study of image indexing techniques for multimedia database systems, The University of Alberta, Department of Computing Science, Technical Report, TR 95-19.

16. Li, K-F., Chen, T-S. ve Chen, K-H. (2003). Fractal image process based image comparison search engine. Journal of Information Science and Engineering, 19,1-14.

17. A.W.M. Smeulders, M. Worring, , S. Santini, , A. Gupta, ve R. Jain, (2000). “Content-based İmage retrieval at the end of the early years”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(12), 1349-1380.

18. Eidenberger, H. (2004). A new perspective on visual information retrieval. SPIE Electronic Imaging Symposium, San Jose.

<http://www.ims.tuwien.ac.at/media/documents/publications/ei2004-vir.pdf>

19. R. C. Gonzales, R. E. Woods, Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company, 2002.

- 20.** F. Bashir, S. Khanvilkar, A. Khokhar, ve D. Schonfeld, (2004) “Multimedia systems: content based indexing and retrieval”. Wai Chen (ed.), *The electrical engineering handbook* Boston: Elsevier Academic Press <http://mia.ece.uic.edu/~papers/publications/EE-Handbook-Chapter-Indexing.pdf>
- 21.** H. Chen, (2001b). “An analysis of image retrieval tasks in the field of art history”. *Information Processing & Management*, 37(5), 701-720.
- 22.** C. Zhang, ve T. Chen, (2002). “An active learning framework for content-based information retrieval”, *IEEE Transactions on Multimedia*, 4(2), 260-268.
- 23.** R. Al-Tayeche, A. Khalil CBIR, “Engineering Project” Faculty of Engineering Carleton University, 2003.
- 24.** L. Shen, L. Bai, ”MutualBoost learning for selecting Gabor features for face recognition”, *Pattern Recognition Letters*, Volume 27, Issue 15, November 2006, Pages 1758-1767.
- 25.** L. S. Davis, S. A. Johns, J. K. Aggarwal,”Texture analysis using generalized cooccurrence matrices,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-I, no. 2, 1979.
- 26.** S. Siggelkow, (2002). “Feature histograms for content-based image retrieval”. PhD Thesis. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg/Almanya.
<http://www.doc.ic.ac.uk/~xh1/Referece/image-retrival/Feature-Histograms-for-Content-Based-Image-Retrieval.pdf>
- 27.** A. Gupta, ve R. Jain, (1997). “Visual information retrieval”, *Communications of the ACM*. 40(5), 70-79. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=253798>
- 28.** Faloutsos, C., Barber, R., Flickner, M., Hafner, J. et al., 1994, Efficient and effective querying by image content, *Journal of Intelligent Information Systems*, 3:231-262.

- 29.** E. Kulak, “Analysis of Textural Image Features For Content Based Retrieval”, MS Thesis, Sabancı University, İstanbul, 2002.
- 30.** C. H. Chen, L. F. Pau, P. S. P Wang, The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision. World Scientific Publishing Co., 1992.
- 31.** A. Atalay, “Automated defect inspection textile fabrics using machine vision techniques,”, MS Thesis, Bogazici University, İstanbul, 1995.
- 32.** C. Unsalan, “Pattern recognition methods for textural analysis case study: steel surface classification,”, MS Thesis, Bogazici University, İstanbul, 1998.
- 33.** R. Carter, Mapping the Mind. Phoenix, 2000.
- 34.** D. He, L. Wang, “Texture features based on texture spectrum,”, Pattern Recognition, vol. 24, no. 5, 1991.
- 35.** A. K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing. Prentice Hall Inc., 1989.
- 36.** Haralick, R. M., Shanmugam, K. and Dinstein, I., 1973, Textural features for Image classification, IEEE Transactions on System Man Sybernetics, SMC-3(6):610-621.
- 37.** Turkoğlu, İ., Durağan Olmayan İşaretler İçin Zaman-Frekans Entropilerine Dayalı Akıllı Örüntü Tanıma, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- 38.** Ergen B, Tatar Y. Optimal Continuous wavelet analysis of periodogram signals. In IJCI Proceedings of International Conference on Signal Processing, volume 1. 2003.
- 39.** Ergen, B. ve Polat, R., “Dalgacık ve Dalgacık Paket Ayırıştırması Kullanılarak Biyomedikal Görüntülerden Gürültü Temizlenmesi”, BIYOMUT06 (Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı 2006), s.172-175, İstanbul, 25-27 Mayıs 2006.

- 40.** Ergen, B. ve Tatar, Y. "Dizi İşaret İşleme Teknikleri ile Kalp Sesi Üreten Kaynakların Göğüs Duvarı Üzerinden Yerlerinin Belirlenmesi", Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Cilt. 17, Sayı 1, s.32-41, 2005.
- 41.** L. Shen, L. Bai, "MutualBoost learning for selecting Gabor features for face recognition", Pattern Recognition Letters, Volume 27, Issue 15, November 2006, Pages 1758-1767.
- 42.** C.J. Liu, H. Wechsler, "Gabor feature based classification using the enhanced Fisher linear discriminant model for face recognition", IEEE Transactions on Image Processing, 11 (4) (2002) 467-476.
- 43.** L. Wiskott, J.M. Fellous, N.Kruger, C. Von der Malsburg, "Face recognition by elastic bounch graph matching", IEEE Transaction on Patern Analysis and Machine Intelligence 19 (7) (1997) 775-779.

ÖZ GEÇMİŞ

Muhammet BAYKARA

Fırat Üniversitesi
Maden Meslek Yüksekokulu
23119, Elazığ

Tel: 0 424 – 2341154

E-posta: mbaykara@firat.edu.tr

1983	Elazığ'da doğdu.
2001-2006	Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünden mezun oldu.
2005-2007	Elazığ Belediyesi Bilgi İşlem Müdürlüğü'nde Bilgisayar Mühendisi olarak çalıştı.
2007-2008	Bilgisayar Mühendisliği'nde yüksek lisans eğitimine başladı.
2007-2008	Fırat Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı'nda Okutman olarak görev yaptı.
2008- ...	Fırat Üniversitesi Maden Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Programcılığı Programında program başkanlığı görevini yürütmektedir.