

# TIBBİ GÖRÜNTÜLERİN İŞLENMESİ, TANIYA YARDIMCI YAZILIMLAR ve RADYOLOJİ İŞ İSTASYONLARI

Dr. M. Alper Selver  
Dokuz Eylül Üniversitesi,  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir

Son yıllarda, özellikle görüntü alma ve bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişim sonucu, tıp fakültelerinin radyoloji bölümleri film yerine sayısal bilgilerin saklanması ve incelenmesini yeğler duruma gelmişlerdir. Genelde filmsiz (sayısal) radyoloji, iki temel alanda ele alınabilir ve faydaları bu iki kapsam içerisinde incelenebilir. Bunlardan birincisi, hastanın elektronik tıbbi kaydının görüntülerle birleştirilmesi ile elde edilen verim, geliştirilmiş erişim ve tümleştirme, ikincisi ise görüntü gösterimi ve işlenmesi alanındaki gelişmelerin yardımı ile yeni tekniklerin oluşmasıdır. Birbirine tümleşik olarak ilerleyen bu iki alanda ülkemizdeki akademik çalışmalar yoğun şekilde sürmektedir. Ancak ulusal firmalar yoğunlukla ilk alanın ürüne dönüştürülmesi sürecinde yer alan hastane ve radyoloji bilgi sistemleri alanında faaliyet göstermektedirler. Bu nedenle bu yazı, ikinci alana, yani tanıya yardımcı görüntü gösterimi, işlenmesi ve yazılımlara tümleştirilmesi sürecindeki temel teknikler, gerekli özellikler ve ürüne dönüşüm sürecinde dikkat edilmesi gereken noktalara ayrılmıştır.

Görüntü yakalama, yüksek hızlı ağlar ve yüksek çözünürlüklü monitörlerdeki büyük ilerlemeler filmsiz radyoloji sistemlerine geçişi önemli ölçüde hızlandırmıştır. İş akışından maliyetlere kadar her alanda uzun vadede kazanç sağlayan sayısal radyoloji sistemleri, günümüzde neredeyse tüm hastanelerde kullanılmaya başlanmıştır. Sayısal radyoloji sistemlerinin ana elemanları 1) Görüntülerin elde edildiği sayısal görüntüleme cihazları, 2) Görüntülerin depolandığı arşiv (Picture Archiving and Communication System-PACS) ve K) klinik görüntüleme yazılımları ve tanı iş-istasyonları olarak özetlenebilir. Günümüzde PACS, görüntünün depolanması, görüntülenmesi, işlenmesi ve iletilmesini sağlamak üzere geliştirilen sistemlere verilen genel bir isme dönüşmektedir, ancak ileri seviye tanı ve analizler halen donanım ve/veya yazılım açısından yüksek kapasiteli iş-istasyonlarında gerçekleştirilmektedir.

Genel olarak PACS üzerinde yer alan görüntüleme yazılımları, görece daha temel ve basit görüntü işleme tekniklerini içerirken, iş istasyonları daha çeşitli, ayrıntılı ve güçlü görüntü işleme ve analiz kapasitesine sahiptirler. Günümüzde, tüm tıbbi görüntüleme yazılımları DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) standardına uygun formattaki tıbbi görüntüler üzerinden çalışmaktadır. DICOM tıbbi görüntüye ilişkin bilginin saklanması,

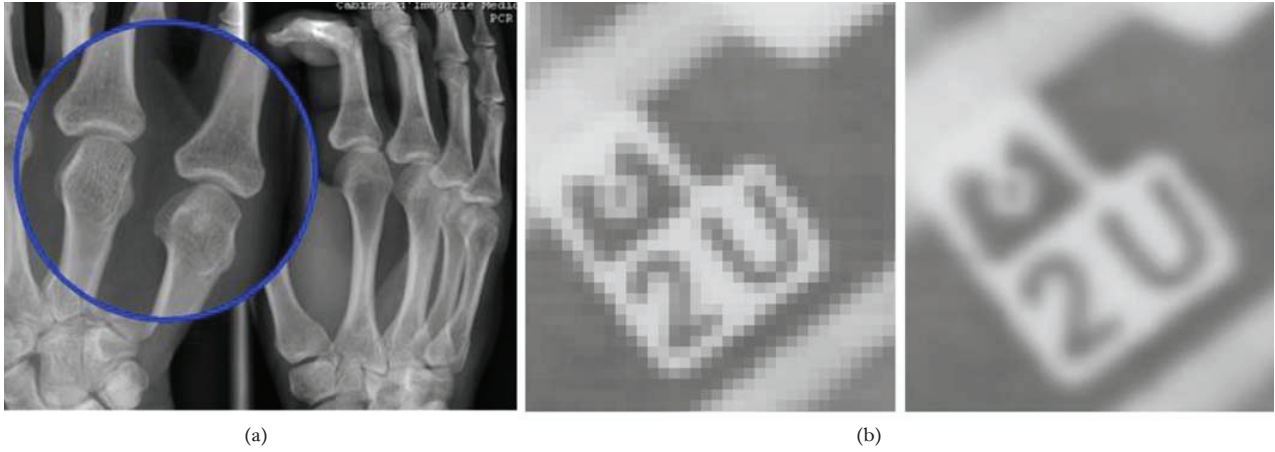
işlenmesi, görüntülenmesi ve iletimi için geliştirilmiş ve en yaygın olarak kullanılan standarttır. Halen yeni özellikler eklenerek geliştirilmeye devam edilmekte olan DICOM, veri iletimi ve depolanması için geliştirilen TCP/IP üzerinde kurulu bir ağ protokolü olmasının yanı sıra aynı zamanda genelgeçer tıbbi görüntü formatıdır. Tüm bu özellikleriyle DICOM servislerini en geniş çerçevede desteklemek güncel ürünlerin temel hedeflerindendir.

DICOM görüntü formatı, gri seviye tıbbi görüntüde 65536 (16 bit) gri düzeyi destekleyerek görüntüleme cihazlarından elde edilen görüntünün sağlıklı görüntülenmesini sağlar. Bu açıdan, DICOM formatındaki görüntüleri 8 bit formatlara çevirmek veri kaybına sebep olacağından, DICOM formatını doğrudan görüntüleyebilen yazılım kullanımı önemlidir. DICOM yalnızca görüntü verisini değil, görüntü elde parametrelerini (örn. Hasta pozisyonu, görüntü alım zaman(lar)ı, kesit aralığı, pozlandırma parametreleri vs.) de içerir. Bu bilgi verisi, pek çok görüntü işleme tekniklerinin (örn. 2-boyutlu kesit görüntülerden 3-boyutlu görüntü elde edilmesi) uygulanmasına ve görüntünün sağlıklı yorumlanmasına yardımcı olur.

## Bir DICOM Görüntüleyicinin Temel Özellikleri

DICOM görüntüleme yazılımları PACS sistemine bağlanıp görüntü çekebildiği gibi, bilgisayarın sabit diskindeki sürücülerindeki herhangi bir görüntü dosyasını ya da DICOMDIR dizin dosyasını açabilir. Bir hastaya ait farklı görüntüleri ya da farklı hastalara ait görüntüleri aynı anda ekranda görüntüleyebilirler. Tıbbi görüntüleme yazılımlarının kullanıcı arayüzleri için henüz ortak bir standard geliştirilmiş olmadığından, farklı firmalar farklı kullanıcı arayüzleri sunmaktadır, ancak bu durum kullanıcıların programları öğrenme ve alışma sürelerini artırmaktadır. Özellikle doktorlar gibi yoğun çalışan meslek gruplarında “kullanıcı dostu” tanımı; bir kılavuza başvurmadan ya da en az yardım alarak öğrenilebilen kullanıcı arayüzlerinin geliştirilmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu nedenle yazılımın sahip olduğu görüntü işleme yeteneklerinin uygun bir arayüzle doktora sunulması ve tercihen kullanıcının günlük hayatta sürekli olarak kullandığı programlara benzetilmeye çalışılması da gereklidir.

Temel özelliklere sahip bir DICOM görüntüleme yazılımının optik kaydırma, görüntüler üzerinde ölçüm yapabilme, görüntü dönüştürme, görüntü süzgeçleme ve piksel tabanlı işleme özelliklerine sahip olması gereklidir. Programın



Şekil 1: (a) Görüntünün istenilen bölgesine optik kaydırma uygulanması, (b) bir kalp piline yüksek optik kaydırma uygulanması (sol) ve interpolasyonla piksel etkisinin azaltılması (sağ).

görüntüler üzerinde yapabilmesi gereken dönüşümler, görüntünün istenilen açıda, istenilen yöne döndürülebilmesi, ayna görüntü eldesi, görüntünün geneline ya da özel bir bölgeye optik kaydırma uygulanabilmesi olarak sıralanabilir. Şekil 1’de optik kaydırma (zoom) özelliğine ait bir örnek görülmektedir. Sayısal görüntü üzerinde yapılan optik kaydırmalar, DICOM görüntüsünün çözünürlüğü ile doğrudan orantılıdır ancak çok yüksek optik kaydırma gereksinimlerinde interpolasyon teknikleri ile görüntü kalitesi artırımı gerçekleştirilebilir.

Piksel işleme tekniği ile parlaklık ayarlama, kontrast ayarlama, görüntünün negatifini, logaritmik, karesel, ters karesel formlarını bulmak ve histogram eşitleme tekniğini uygulamak mümkündür. Look-Up-Table (LUT) değişimleri olarak isimlendirilen bu işleme teknikleri görüntülerin incelenmesi esnasında farklı özelliklerin ön plana çıkmasını sağlayarak uzmanların görüntü yorumlamasını kolaylaştırıcı etki gösterirler. Şekil 2’de bu işleme tekniklerinin bazıları aynı radyolojik görüntü üzerinde gösterilmiştir.

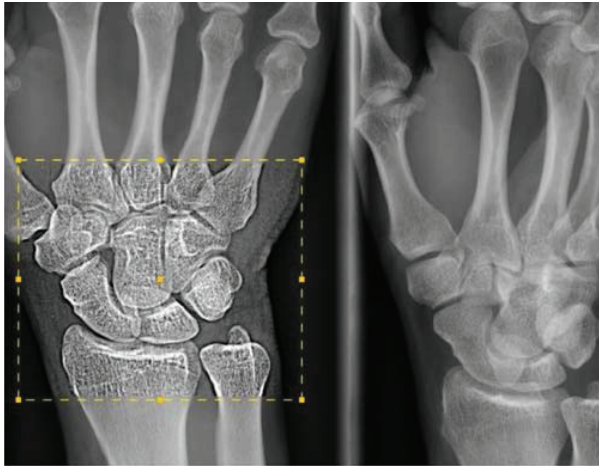
Görüntüler, programda önceden belirlenen süzgeçler yardımıyla maskelenebilir. Süzgeç kullanımını piksel işleme tekniklerden ayıran en önemli özellik, işlemlerin görüntü içerisinde yerel olarak yapılmasıdır. Piksel tabanlı işleme teknikleri histogram benzeri global veri bilgisi sağlayan göstergeler üzerinden tüm görüntü karakteristiğini etkilerler.

Bu işlemlerde önemli olan yalnızca pikselin değeridir; komşu piksellerin değeri, dolayısıyla pikselin konumu dikkate alınmaz. Süzgeçler ise bir pikselin değerini komşularının değerine göre etkilerler. Bu işlemi gerçekleştirmek için genelde görüntüden çok daha küçük ve süzgeç katsayılarını barındıran bir matris görüntü üzerinde gezdirilerek (konvolüsyon) yeni piksel değerleri belirlenir. En yaygın olarak kullanılan süzgeç tipleri: 1) Görüntüdeki gürültü ve benzeri bozulmaları gidermek için kullanılan alçak geçiren süzgeçler ve 2) Görüntüdeki kenar ve hızlı geçiş bilgilerini ön plana çıkaran yüksek geçiren süzgeçlerdir. Her süzgecin sağladığı kazanımın yanında neden olduğu dezavantajlar unutulmamalıdır. Örneğin alçak geçiren bir süzgeç gürültü etkisini azaltırken, süzgeçlenen yüksek frekans bileşenleri nedeniyle görüntüdeki sınır ve kenar bilgilerini baskılar. Benzer şekilde kenar bilgisini kuvvetlendiren yüksek geçiren süzgeçler gürültü etkisinin artmasına neden olurlar. Bu sebeple aynı filtreler farklı kuvvetlerdeki (farklı katsayı kombinasyonları) seçenekleri ile sunulurlar ve kullanımları uygulamaya bağlı olarak belirlenir. Şekil 3’te görüldüğü gibi, gezgin maskeleme sayesinde süzgeçleme işlemi görüntünün geneline uygulanabileceği gibi sadece istenilen bölgeye de uygulanabilir.

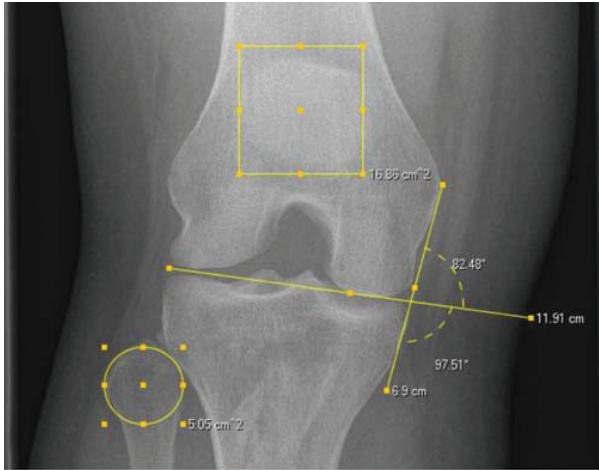
Tıbbi görüntüler üzerinde yapılan ölçümler, bir çok tanının kantitatif olarak değerlendirilmesi açısından önemli ve gereklidir. Yazılımlar aracılığıyla görüntü üzerinde



Şekil 2: Piksel işleme tekniklerinin aynı görüntüye uygulanması ile elde edilen farklı sonuçlar.



Şekil 3: İstenilen bölgeye yüksek geçiren süzgeç uygulanması.

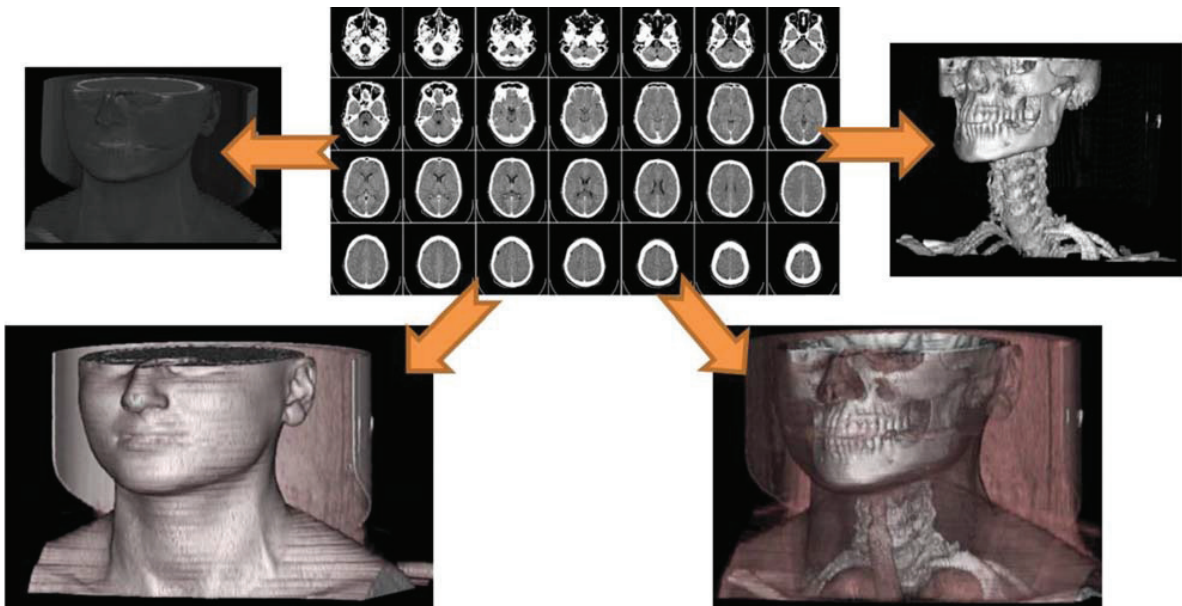


Şekil 4: Farklı ölçüm tekniklerinin (alan, uzunluk, açı) tıbbi görüntü üzerinde kullanımı.

uzunluk, açı ve alan ölçümleri yapılabilir (Şekil 4). Tıbbi görüntüleme yazılımlarını benzer günlük programlardan ayıran en büyük özellik, uzunluk ve alan ölçümlerinin doğru kullanılabilmesi için görüntünün kullanıcı ekranındaki görünümü ile DICOM verisindeki üst bilginin uygun şekilde ilişkilendirilmesinin gerekliliğidir. Örneğin, görüntü kullanıcı ekranında x2 optik kaydırma ile görüntülenirken yapılan ölçüm, görüntünün özgün büyüklüğündeki değerine dönmek için 2'ye bölünmeli ve daha sonra DICOM üstbilgisinde yer alan x-/y- piksel mesafe bilgisi ile çarpılmalıdır. Bu ilişkilendirmenin yapılamaması ya da DICOM üstbilgisinin eksik olması durumunda yalnızca açı ölçümleri güvenilir sonuç verebilir.

### İleri Seviye İş-istasyonlarının Özelliklerine Örnekler

Bilgisayarlı Tomografi (BT) ve Manyetik Rezonans (MR) gibi tomografik görüntüleme tekniklerinin ürettiği yüzlerce görüntüden oluşan görüntü serileri bir çok ileri seviye analizin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu analizler yalnızca projeksiyon ve/veya kesit görüntülerin iki boyutlu (2B) işlenmesi ile sınırlı olmayıp, kesit görüntülerin çoklu düzlem geriçatma (Multi Planar Reconstruction (MPR)) ve üç boyutlu (3B) görüntülenmesini de içermektedir. MPR tekniği, doktorun hasta görüntü serisine aksiyal, koronal ve ya sagittal olarak bakabilmesini sağlar. Ayrıca kullanıcı etkileşimli olarak görüntüleme yüzeyini değiştirerek MPR görüntü üzerinde istediği eksen üzerinden görüntüleme de yapabilir. Böylelikle tıbbi uzmanlar anatomik yapı ile sanal etkileşimde bulunabilmekte ve muhtemel yaşam koruyucu bilgileri öğrenebilmektedir. Bu veriler, gelişen görüntü işleme tekniklerinin yardımı ile sadece görüntüleme amaçlı değil aynı zamanda tanı, ameliyat planlama ve benzetimi, radyoterapi planlama



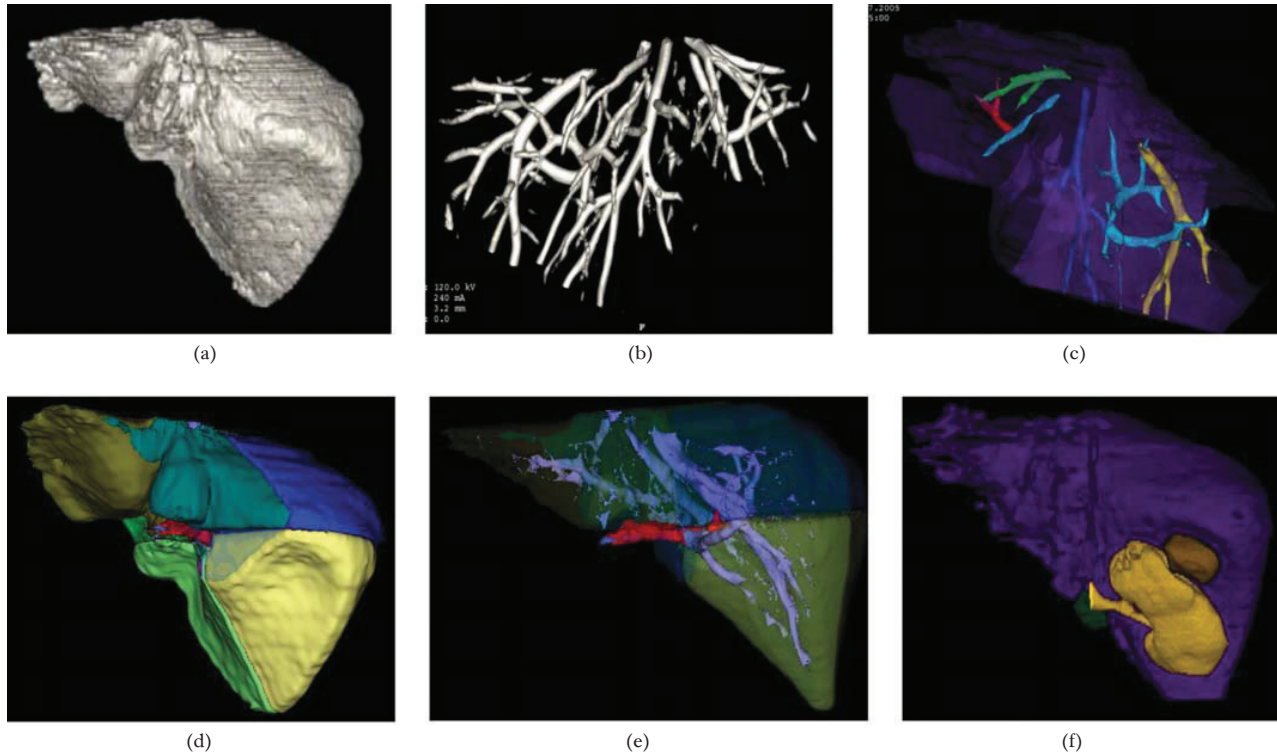
Şekil 5: Transfer fonksiyonları aracılığı ile doğrudan üç boyutlu görüntüleme. Şekildeki her 3B görüntü ufak parametre değişimlerinin grafik kartı üzerinden doğrudan işlenmesiyle gerçek zamanlı olarak elde edilebilmektedir. 3B görüntüler saat yönünün tersinde takip edildiğinde ham 3B görüntü, doku-opak 3B görüntü, doku-şeffaf 3B görüntü ve doku-saydam 3B görüntü (kafatası) görülmektedir.



gibi pek çok alanda da kullanılabilir. MPR günümüzde radyoloji görüntüleme yazılımlarının neredeyse temel özelliklerinden biri haline gelmiştir ve tomografik görüntülerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tomografik cihazlardan elde edilen çoklu veri dilimleri, çeşitli görüntüleme teknikleri kullanılarak 3 Boyutlu (3B) görüntülerin oluşturulmasında da kullanılmaktadır. 3B görüntülemenin tıbbi uzmanların yararlandığı bir araç olabilmesi için kullanış arayüz tasarımları ve uygun işlem hızına sahip üst yazılımlar ile desteklenmesi gerekir. 3B görüntüler transfer fonksiyonları olarak isimlendirilen etkileşim araçları ile doğrudan oluşturulabilirler (Şekil 5). Uygun uygulamalarda anatomik yapıların yüksek kalitede 3B görüntüleri transfer fonksiyonları tabanlı görüntüleme teknikleri ile sağlanabilmekle birlikte, çok fazla sayıda organın birleşmesinden kaynaklanan karmaşık iç yapıda daha ileri seviye tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Anatomik yapı ya da yapıların tek başına ayrıştırılmış bir şekilde görüntülenmesi tıbbi hacim bölütleme olarak adlandırılır. Bölütleme algoritmalarında, organın veya ilgi-bölgesinin sınırlarını doğru bir şekilde çıkarmak ve veri kümesinin geri kalanından ayırmak en önemli olgudur. Fakat örnekleme artefaktları, gürültü, düşük kontrast gibi görüntü eldesi kaynaklı problemler, anatomik yapıların ayırtedilemez veya eksik görüntülenmesine neden olabilmektedirler. Bu nedenle başarıyı yüksek bölütleme yöntemlerine gereksinim duyulmaktadır ve farklı uygulamalarda tıbbi hacim bölütlemesi için geçerli yöntemlerin geliştirilmesi halen en yoğun çalışılmakta olan alanlardan biridir.

Hacim bölütlemenin önemine ilişkin en etkili örneklerden biri karaciğer nakli ameliyatlarından önce verici (donör) karaciğerinin incelenerek ameliyat planlamasının yapılmasıdır. Operasyon öncesi karaciğerin hacmi, damar yapısı ve (eğer gerekiyorsa) nakil edilmesi planlanan loblarının hacimleri ile bu lobları ayırırken dikkat edilmesi gereken damar bağlantılarının çıkarılması gereklidir. Tüm bu işlemlerin 2B görüntü serileri içerisinde yapılması mümkündür, ancak 2B analizler iki temel zorluk içermektedir. İlk olarak 2B görüntülerden bu bilgilerin çıkarılması uzun ve zaman alıcı bir işlemdir. İkinci olarak da cerrahlar, radyologlar gibi 2B görüntüleri yorumlama üzerine uzmanlaşmışlarından, operasyon planını oluşturmada zorlanırlar. 3B görüntüleme ile karaciğer, damarlar ve loblar farklı parametreler ile görüntülenerek cerrahın çok daha sağlıklı ve etkin planlama yapması sağlanabilir. Şekil 6'da örnek bir planlamanın adımları görülmektedir. Şekil 6.a'da karaciğer bölütlenerek tüm hacminin ölçümü gerçekleştirilir. Şekil 6.b'de karaciğer içindeki damarlar bölütlenerek damar ağ yapısı görüntülenmiştir. Şekil 6.c'de doktorların belirlediği farklı damar ağları farklı renklere atanarak, şeffaf karaciğer parankiması içerisinde görüntülenmiştir. Şekil 6.d'de, farklı damar ağları ile belirlenen karaciğer lobları (Cinaud sınıflaması) görülmektedir. Şekil 6.e'de lobların içerisindeki damar ağları görüntülenirken, son olarak Şekil 6.f ise karaciğeri komşu organları ile beraber göstermektedir. Tüm bu analizler karaciğerin operasyon öncesi ayrıntılı olarak analiz edilebilmesini sağlar.



Şekil 6: Karaciğer nakli öncesi verici (donör) incelemesi amacıyla 3B görüntüleme

Bölütleme ileri seviye analizler için kullanılmakta olan bir çok görüntü işleme tekniğinden yalnızca biridir. Kolonoskopi ve beyin ameliyatları gibi yaygın olarak kullanılan farklı uygulamalarda, çok çeşitli bölütleme ve görüntüleme teknikleri kullanıldığı gibi, farklı görüntüleme cihazlarının ürettiği görüntülerin tümleşik analizini sağlayan füzyon ve çakıştırma yöntemleri de bulunmaktadır.

### Ar-Ge ve Ticari Ürün Olarak Tıbbi Görüntü İşleme

Yazı boyunca belirtilen teknik özellikleriyle ileri seviye tıbbi görüntü işleme yazılımları, özellikle radyologların tanı ve analizlerde kullandığı en önemli araçtır. Daha basit ve temel işlevleri barındıran yazılımlar ise PACS görüntüleyici olarak hastanelerin tüm kliniklerine sunulmaktadır. Yaygın olarak kullanılan çözümlerden biri de klinik görüntüleme yazılımlarının Java appletler gibi araçlarla internet tarayıcı programları üzerinden çalışmasıdır. DICOM, IHE ve HL7 gibi standartların gelişmesi ve kabul görmesiyle birlikte görüntü işleme yazılımları ve tanı istasyonları görüntüleme cihazı (modalite) üreticilerinin tekelinden çıkmıştır.

Bu gelişmelere rağmen, maalesef ulusal firmalarımızın çoğunun görüntüleme yazılımlarına bakış açısı oldukça kısır kalmaya devam etmektedir. Yakın zamanda katıldığım ve İstanbul'da düzenlenen uluslararası tıp bilişimi konferansında sohbet etme fırsatı bulduğum önde gelen bir ulusal firmanın üst düzey yetkilisi klinik görüntüleme yazılımları konusundaki politikalarını “tekerleği yeniden keşfetmeye gerek yok” olarak tanımladı. Firmalar tarafından kabul gören “hazır yapılmış ve uygun fiyatlı var, alıp-satmak yerine neden kendim geliştireyim?” politikası maalesef ülkemizde bu alanda süren çalışmaları dar bir vizyona ve sığ ilerlemelere hapsedmektedir.

Firmalar tarafından belirlenen al-sat politikasının başlıca iki sorunu bulunmaktadır: İlk olarak, klinik görüntüleme yazılımları ileri seviye iş istasyonlarının taban programlarını oluşturmaktadır. Bu nedenle eğer temel bir görüntü işleme yazılımınız yoksa, ileri seviye iş istasyonu geliştirmeniz mümkün değildir. Bu durum şartnamesinde artık 3B görüntülemeyi standart hale getirmiş bir çok hastane için firmaların yüksek bedellerle yabancı yazılımlar almalarına neden olmaktadır. Daha büyük kayıp ise üniversitelerimizce bu alanlarda geliştirilen onlarca çalışmanın, tümleştirilecek bir yazılım olmaması nedeniyle bilimsel yayın olarak kalıp ürüne dönüşmemesidir. Halbuki, özellikle Amerika ve Almanya'da tıbbi sayısal görüntülerin, yeni görüntü işleme tekniklerinin geliştirilmesinde kullanılabilmesi ve bu tekniklerin tıp uzmanlarının kullanabileceği arayüzler haline dönüştürülmesi için sürekli firma-üniversite işbirliği sürdürülmektedir.

İkinci neden ise giderek önem kazanan DICOM uzantılarının kullanımı ve uygulanmasında karşılaşılan zorluklardır. DICOM uzantıları, özellikle radyolojik iş akışındaki verimliliği ve kaliteyi artırmayı hedeflenen ek standartlar olarak tanımlanabilir. DICOM uzantılarına bir örnek olarak DICOM Sunum Kipleri (DICOM Grayscale Softcopy

Presentation States- GSPS) nesneleri gösterilebilir. GSPS radyologun orjinal görüntüyü açmasıyla başlayan ve tanı sürecine kadar gerekli gördüğü görüntü işleme adımlarını saklayan bir nesnedir. Bu işlemler ilgi alanı seçimi, süzgeçleme, etiketleme gibi her türlü tanı adımını kapsamaktadır. GSPS nesneleri ilgili görüntü ya da görüntülere ilişkilendirilerek DICOM uyumlu olarak saklanır. Böylelikle başka herhangi bir uzman orjinal görüntüleri açtığında, tek bir tuşla radyologun tanımı koyduğu görüntü parametreleri ile görüntüleme yapabilir. GSPS desteği giderek önem kazanmakta olduğu için DICOM komitesi bu uzantıyı N-boyutlu verilere genişletmeyi hedeflemektedir. Benzer şekilde, yapılandırılmış raporlama (structured reporting) radyoloji işakışının önemli elemanlarından biri olmaya adaydır. Bu gibi uzantıların görüntüleme yazılımı tarafından desteklenmesi yalnızca teknik açıdan değil, bölgesel gereksinimlere uygun yapılandırmalar açısından da gereklidir. Yabancı kaynaklı yazılımlar kullanıldığında hastaneler istedikleri ufak değişiklikler ve önlemler için bile çözümsüz kalmaktadırlar.

Yakın zamanda görüntü işleme yazılımları mobil cihazlar üzerinde de yaygın olarak kullanılmaya başlanacaktır. Yabancı kaynaklı yazılımlara olan bağımlılık, teknolojinin bu dönüş noktasında da müşteri konumunda kalmamıza neden olacak gibi görünmektedir. Görüntüleme cihazı (BT, MR vb.) üretimi konusunda neredeyse tamamen teknoloji dışı kalan ülkemizde sadece yazılım tabanlı ürünlerde bile dışa bağımlı kalmamız üzücüdür. Olumlu yönden bakıldığında ise geleceği umut vaat eden ancak sayıları maalesef bir elin parmaklarını geçmeyen ulusal görüntüleme yazılımı firmalarımız ve ürünlerimiz bulunmaktadır.

Radyoloji kongrelerinin tıp bilişimi oturumlarında radyologların ortak olarak belirttiği konulardan biri de multimedya teknolojilerindeki gelişmelerin tıp bilişimine aynı ölçüde yansımamasıdır. Örneğin patolojik bir görüntü parçası ile PACS üzerinde arama yapabilme ve benzer karakteristiklere sahip görüntüleri kolay ve hızlı olarak çağırabilme gibi özellikler hem akademik çalışmaları hem de işakışı ve verimi hızlandırarak kolaylaştıracaktır. Aslında ulusal akademik çalışmalarımız içerisinde dünya çapında derece alacak kadar başarıyı yüksek teknolojiler bulunmaktadır. Ancak bunların ürüne dönüşümü yine firma-üniversite işbirliği gerektirmektedir.

Bu yazıda belirtilmeyen ama çok önemli olan görüntü işleme alanları da mevcuttur. Örneğin, görüntüleme cihazlarından sayısal görüntü eldesi ile sayısal görüntülerin sıkıştırılarak depolanmasında ve iletiminde önemli kazançlar sağlanmaktadır. Tıbbi görüntü sıkıştırma teknolojisindeki gelişmeler önemli bir görüntü işleme uygulaması olarak pek çok akademik çalışma ve ticari ürünün odak noktası olmaya devam etmektedir. PACS arşivleme sistemlerinin verimli kullanımını ve tele-radyoloji uygulamalarının etkinliğini önemli ölçüde etkileyen sıkıştırma teknikleri N-boyutlu sunuş durumlarının devreye girmesiyle daha da önem kazanacaktır. ■