



MR Görüntülerin Bölütlenmesinde Kullanılan Medikal Yazılım Araçlarına Kısa Bir Bakış A Brief Overview of Medical Software Tools Used in MR Image Segmentation

Abbas Memiş¹, Songül Albayrak¹, Fuat Bilgili²

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

²Ortopedi ve Travmatoloji Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

abbasmemis@gmail.com, songul@ce.yildiz.edu.tr, fuatbilgili@gmail.com

Özetçe —Bu bildiri, manyetik rezonans (MR) görüntülerin el yordamıyla, yarı-otomatik veya tam-otomatik bölütlenmesi amacıyla geliştirilen farklı medikal yazılım araçları ve bu araçların bazı özellikleri ele alınmış ve sunulmuştur. MR görüntüleme, klinik tedavi uzmanları ve cerrahlar tarafından sıklıkla tercih edilen medikal görüntüleme yöntemlerinden biridir. Klinik araştırmalarda ve klinik mühendisliği temelli çalışmalar dahilinde MR görüntülerin bölütlenmesi, hastalık görüntülerinin ve hastalıkların analizi için önemli bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak ve klinik tedavi uzmanlarına, cerrahlara, araştırmacılara yürütecekleri bilgisayar destekli araştırma projelerinde kolaylıklar sağlamak amacıyla medikal yazılım araçları geliştirilmektedir. Halihazırda mevcut olan MR görüntü bölütleme araçları tasarım, kullanıcı-grafik arayüzü ve sağladığı işlevler gibi kriterler göz önünde bulduğunda birbirleriyle birçok farklılıklar göstermektedir. Tarafımızca yapılan bu kısa derleme çalışmasında, klinik araştırmalarda ve mühendislik çalışmalarında öne çıkan 10 farklı MR görüntü bölütleme yazılımı hakkında özet bilgiler verilmiş ve bu yazılım araçları tanıtılmıştır.

Anahtar Kelimeler—medikal yazılım araçları; MR görüntü bölütleme; MR bölütleme araçları.

Abstract—In this paper, various medical software tools, which have been developed for the manual, semi-automatic or fully-automatic segmentation of magnetic resonance (MR) images, and some features of these software tools are presented and discussed. MR imaging is one of the medical imaging modalities which are frequently preferred by the clinicians and surgeons. Segmentation of the MR images in clinical researches and in clinical engineering-based studies is emerging as a considerable requirement for the analysis of the disease images and the diseases. Medical software tools have been developed to meet this need and to provide facilities for the clinicians, surgeons and researchers in computer-aided research projects they conduct. Currently available MR image segmentation tools have many differences when considering criteria such as design, graphical-user interface and functions they provide. In this short review study, we briefly summarized 10 different MR image segmentation software tools highlighted in clinical researches and engineering studies and these software tools have been introduced.

Keywords—medical software tools; MR image segmentation; MR segmentation tools.

978-1-5386-6852-8/18/\$31.00 © 2018 IEEE

I. GİRİŞ

Medikal görüntüleme tıpta ve biyolojide; organizma anatomilerinin, sistemlerin, organların ve dokuların yapısal görüntülenmesini sağlayarak bu yapılar hakkında gerek tek, gerekse de çok boyutlu görüntü verileri sağlar. Bu veriler, özellikle biyomekanizmaların işleyişleri hakkında bilgi sahibi olmada, hastalıkların teşhisi ve tedavisinde klinik tedavi uzmanları, cerrahlar ve araştırmacılar için önemli bir yardımcı unsur görevi görür. Gelişen teknolojiye bağlı olarak medikal görüntüleme sistemlerinde de mesafeler katedilmekte ve yeni tıbbi görüntüleme teknikleri geliştirilmektedir. Tıbbi araştırmalar amacıyla radyografi, ultrasonografi, sintigrafi, manyetik rezonans (MR) görüntüleme, bilgisayarlı tomografi (BT) gibi birçok medikal görüntüleme tekniği geliştirilmiştir ve bu görüntüleme teknikleri halihazırda klinik tedavi uzmanları, cerrahlar ve araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. Birbirlerine göre farklı avantaj ve dezavantajları olan bu görüntüleme tekniklerinden, farklı gereksinimler göz önünde bulundurularak belirli amaçlar doğrultusunda istifade edilmektedir. Bahsedilen tıbbi görüntüleme yöntemleri arasında önemli bir yere sahip olan MR görüntüleme, büyük miktatlarla oluşturulan güçlü manyetik alan içinde radyo dalgaları kullanılarak canlıların iç yapısını görüntülemeye imkan veren ve yumuşak dokular da dahil olmak üzere dokuların ayrıntılı görüntü bilgisini sunan bir tıbbi görüntüleme yöntemidir. MR görüntüleme yüksek çözünürlüklü, çok detaylı, açık, kaliteli ve okunabilirlik oranı yüksek görüntülerin alınmasını mümkün kılar. Böylece yumuşak dokuların ve doku geçişlerinin çok iyi biçimde görüntülenebilmesine olanak da verir. Kontrast madde kullanmadan bazı anjiyografik görüntülerin elde edilebilmesine imkan vermesi de diğer bir avantajıdır. Bunlara ek olarak koronal, sagittal, aksiyel gibi farklı birçok düzlemde çok kesitli görüntü sağlaması ve hastaları x-ışınlarına maruz bırakmadan görüntüleme imkanı sunması da önemli avantaj sağlayan diğer özellikleri olarak belirtilebilir.

Hastalıkların bilgisayar destekli analizinde teşhis-tedavi kolaylığı ve doğruluğu sağlamaya binaen MR görüntülerinde farklı dokuların bölütlenmesi ve niceliksel analizinin yapılması bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak ve



klirik tedavi uzmanlarına, cerrahlara, araştırmacılara yürütecekleri bilgisayar destekli araştırma projelerinde kolaylıklar sağlamak amacıyla medikal yazılım araçları geliştirilmektedir. Tarafımızca yapılan bu kısa derleme çalışmasında, klinik araştırmalarda ve mühendislik çalışmalarında one çıkan bazı MR görüntü bölütleme yazılımları hakkında zet bilgiler verilmiş ve bu yazılım araçları tanıtılmıştır. Bildiride ele alınan MR görüntü bölütleme yazılımlarına Bölüm II'de ve bu bölüm altındaki alt başlıklarda yer verilmiştir. Bölüm III'te ise sonuç ve değerlendirmeler paylaşılmıştır.

II. MR GÖRÜNTÜ BÖLÜTLEME YAZILIMLARI

MR görüntülemenin tıpta, özellikle hastalıkların teşhis ve tedavisinde klinik tedavi uzmanları ve cerrahlar tarafından sıklıkla kullanılması sonucu, klinik araştırmalarda ve klinik mühendisliği temelli çalışmalar dahilinde MR görüntülerin bölütlenmesi önemli bir gereksinim olarak ortaya çıkmaktadır. Görüntülerde yer alan çeşitli dokuların ve organların bölütlenmesi; bu yapılarıdaki rahatsızlıkların değerlendirilmesi, lezyonların ölçülmesi ve bu yapıların tüm görüntüden ayrı bir biçimde görselleştirilmesi açısından önem taşır. MR görüntülerin manüel olarak bltlenmesine ek olarak, literatürde yapılmış ve halihazırda yürütülen çalışmalar dahilinde birçok farklı yaklaşımla MR görüntülerin bölütlenmesi yarı-otomatik ve tam-otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmalarda beyin, akciğer, kalp gibi organların bltlenmesinin yanısıra kemik, kırık gibi farklı dokular da bölütlenmektedir. Bu tarz bölütleme temelli çalışmalarda medikal yazılım araçlarının kullanılması hem çalışmadaki iç yükünü azaltmakta hem de uzun zaman gerektiren işlemlerin çok daha kısa bir zamanda tamamlanmasını sağlamaktadır.

Medikal görüntü analizi için farklı gereksinimlere bağlı olarak farklı yazılımlar geliştirilmektedir. Bu yazılımlar literatürde yer alan bazı çalışmalarda derlenmiş ve tanıtılmıştır. Bu amaçla kaleme alınan bir makalede [1], medikal görüntü bölütleme yöntemleri ve mevcut yazılımlar detaylı bir biçimde ele alınmış ve kategorilendirilmiştir. Başka bir makalede ise [2], 15 farklı tıbbi görüntü işleme aracı çeşitli yönlerden karşılaştırılmıştır. [2]'deki çalışmada, farklı işletim sistemlerini kullanan kullanıcıların farklı görüntüleme türlerini analiz ederken hangi tip tıbbi görüntü araçlarını kullanabileceğine dair bilgiler sunulmuştur. Medikal görüntü analiz araçlarının geliştirilmesinde temel medikal yazılım kütüphaneleri de kullanılabilir ve araçlar, bu kütüphaneler üzerine inşa edilmesi sayesinde bu kütüphanelerin fonksiyonlarını kullanıcılara sunabilmektedir. [3]'teki çalışmada ise, tıbbi görüntüleme araçlarının ve uygulamalarının hızlı bir biçimde geliştirilmesinde kullanılabilir 4 adet çapraz platform, esnek ve gürbüz açık kaynak kütüphanesi sunulmuştur. Ayrıca, zel tıbbi görüntüleme uygulamaları geliştirmek için kullanılabilir çok az programlama becerisi gerektiren veya hiç programlama becerisi gerektirmeyen 5 açık kaynaklı çatı üzerine yorum yapılmıştır. Tarafımızca yapılan bu çalışmada dahilinde, klinik araştırmalarda ve mühendislik çalışmalarında MR görüntülerin bölütlenmesi amacıyla kullanılabilir olan yazılım araçları çok detaylı olmamak üzere analiz edilmiş, tanıtılmıştır. Böylece, MR görüntülerin bölütlenmesi ve bu görüntülerin niceliksel olarak değerlendirilmesi üzerine çalışma yürütecek olan araştırmacılara, klinik tedavi uzmanlarına ve cerrahlara, yapacakları çalışmalar kapsamında istifade edebilecekleri yazılım araçları hakkında bilgi sağlanması ve fikir aşılan-

ması amaçlanmıştır. Bildiri kapsamında ITK-Snap, 3D Slicer, TurtleSeg, ImageJ, Amira, Medviso-Segment, Seg3D, SmartPaint, MiaLite, MITK araçları ele alınmış ve belirtilen MR görüntü bölütleme araçlarına ait bilgiler bu bölüm dahilindeki alt başlıklarda sırasıyla yer verilmiştir.

A. ITK-Snap

ITK-SNAP, medikal görüntülerde 3B yapıları bölütlemek amacıyla geliştirilmiş bir yazılımdır [4], [5]. Penn Image Computing and Science Laboratory (PICS)-University of Pennsylvania ve Scientific Computing and Imaging Institute (SCI)-University of Utah işbirliği ile geliştirilmiştir. Medikal görüntülerde manüel işaretleme ve görüntü navigasyonu sağlar. Aktif kontur yöntemlerini kullanarak medikal görüntülerin yarı-otomatik olarak bltlenmesine de imkan verir. ITK-SNAP medikal görüntü analiz yazılımında, diğer görüntü analiz araçlarına kıyasla, özellikle görüntü bölütleme problemine odaklanılmıştır ve bunun haricindeki özellikler minimum seviyede tutularak çok fazla ön plana çıkarılmamıştır. Basit ve işlevsel bir kullanıcı arayüzüne sahiptir. Bu sayede kullanıcı ile yazılım arasında kolay etkileşim kurulmakta ve kolay kullanım sağlanabilmektedir. Yazılım, cretsiz ve açık kaynak kodludur. Aynı zamanda çok platformlu olma özelliği sayesinde Linux, Windows ve MacOS gibi farklı işletim sistemleri üzerinde koşabilmektedir. ITK-SNAP için kapsamlı eğitim dokümanları ve videoları da mevcuttur. Yazılıma ait temel özellikler ve çekirdek işlevlerden bazıları ise şunlardır:

- Aynı anda üç ortogonal düzlemde manüel bölütleme gerçekleştirebilme
- NIFTI ve DICOM dahil olmak üzere birçok farklı 3B görüntü formatını destekleme
- Renkli, çok kanallı ve zamana bağlı görüntülerde analiz yapabileme

B. 3D Slicer

3D Slicer, medikal görüntü analizi ve görselleştirmesi için geliştirilmiş açık kaynaklı bir yazılım platformudur [6], [7]. National Institutes of Health ve dünya çapındaki bir geliştirici topluluğunun desteğiyle geliştirilmektedir. Medikal görüntü analizi kapsamında görüntü çakıştırma ve etkileşimli bölütleme de sağlar. Etkileşimli bölütleme işlevi sayesinde görüntü bölütleme gerçekleştirilebilirken, görselleştirme işlevi ile medikal görüntülerde hacimsel analiz de yapılabilir. Yazılım aynı zamanda eklentilerle genişleyebilir bir yapıya sahiptir. Algoritmalar ve uygulamalar, yazılımın eklentiye açık yapısı sayesinde yazılıma entegre edilebilir. 3D Slicer medikal görüntü analiz aracı, açık kaynaklı bir yazılımdır ve ücretsizdir. Bununla birlikte Linux, MacOSX ve Windows işletim sistemleri için yazılım yükleme seceneği mevcuttur. Kullanımında bir kısıtlama yoktur ancak araştırmaya yöneliktir ve klinik kullanım için onaylanmadığı belirtilmektedir. Yazılımın ek özelliklerinden bazıları aşağıda belirtilmiştir:

- Çoklu-organ özelliği ile farklı organlarda analiz yapılabilmesi
- MR başta olmak üzere; BT, nükleer tıp ve mikroskopi gibi farklı görüntüleme türlerini desteklemesi
- Cihazlar ve tarayıcılar için iki-yönlü arayüz sağlaması



C. TurtleSeg

Etkileşimli bir medikal görüntü bölütleme yazılımı olan TurtleSeg, kullanıcıya rehberlik ederek minimum seviyede etkileşimle 3B bölütleme gerçekleştirmeyi sağlar [8], [9]. Yazılım, Medical Image Analysis Lab (MIAL)-Simon Fraser University ve Biomedical Signal and Image Computing Laboratory (BiSICL)-University of British Columbia kurumlarınca geliştirilmiştir. Spotlight özelliği sayesinde, bölütleme başlangıcında kullanıcıyı otomatik olarak en iyi yere yönlendirebilir ve 3B bölütleme kullanıcı tarafından sağlanan bilgiler kullanılarak otomatik olarak gerçekleştirilebilir. MR ve BT gibi birçok farklı görüntüleme türünde birçok farklı anatomik bileşeni ayırabilir. Yazılımın deneme sürümü mevcut olmakla birlikte, yazılım kullanımı ücretlidir. Yazılım, Windows ve Mac platformlarında kullanılabilir ve kapsamlı bir dokümantasyonu da mevcuttur. TurtleSeg'e ait diğer bazı özellikler ise aşağıda sıralanmıştır:

- DICOM ve 3B baskıya hazır STL dosyaları dahil olmak üzere birçok 3B dosya formatını içe ve dışa aktarabilme
- Sezgisel ve kullanımı kolay bir arayüze sahip olma
- Çok seviyeli geri al/tekrarla desteği
- Bölütme, görüntü maskesi veya yüzey örgüsü olarak dışa aktarma
- Çoklu etiketleme ile farklı yapıları işaretleme ve bölütleme

D. ImageJ

ImageJ, National Institutes of Health tarafından geliştirilen Java tabanlı, ücretsiz ve açık kaynak kodlu bir görüntü işleme ve analiz programıdır [10], [11]. Kullanıcı tarafından tanımlanan manüel seçimlerin alan ve piksel değer istatistiklerini hesaplayabilir. Mesafeleri ve açıları ölçebilir. Yoğunluk histogramları ve çizgi profil grafikleri oluşturabilir. Kontrast manipülasyonu, keskinleştirme, yumuşatma, kenar algılama ve medyan filtreleme gibi standart görüntü işleme fonksiyonlarını destekler. ImageJ, Java eklentileri yoluyla genişletilebilen açık bir mimari ile tasarlanmıştır. Kullanıcı tarafından yazılan eklentiler yazılıma entegre edilebilir ve böylece farklı yaklaşımlarla görüntüler işlenebilir ve analizler gerçekleştirilebilir. ImageJ, Java desteği sayesinde Windows, MacOSX ve Linux işletim sistemlerinde çalıştırılabilir. Yukarıda belirtilen işlevlerine ve özelliklerine ek olarak aşağıda sıralanan özelliklere de sahiptir:

- TIFF, PNG, GIF, JPEG, BMP, DICOM ve FITS de dahil olmak üzere birçok görüntü formatını okuyabilme
- Makrolar (300'den fazla) ile otomatik görevler ve özel araçlar oluşturabilme
- Mevcut eklentiler (500'den fazla) ile genişletilebilme

E. Amira

Amira [12]; 3B veri görselleştirme, analiz ve modelleme için kullanılan bir yazılım platformudur. İlk olarak Zuse Institute Berlin (ZIB) bilimsel görselleştirme grubu tarafından geliştirilmiştir. Ticari dağıtımı ise Thermo Fisher Scientific tarafından yapılmaktadır. Amira, veri görselleştirmesinin yanı sıra görüntü bölütleme amacıyla da kullanılabilir. Kullanıcının otomatik, yarı otomatik ve manüel araçları kullanarak 3B görüntülerdeki yapıları ve ilgi bölgelerini işaretlemesine

ve bölütlemesine olanak tanır. Bölütleme sonucunda hacimsel analiz, yoğunluk analizi, şekil analizi gibi işlemler de yapılabilmektedir. Ticari bir ürün olarak Amira, lisans veya akademik abonelik satın almayı gerektirmektedir ancak zaman kısıtlı bir değerlendirme sürümü ücretsiz olarak indirilebilmektedir. Yazılım Linux, MacOSX ve Windows platformlarında çalışabilmektedir. Amira'ya ait diğer bazı özellikler ise şunlardır:

- 2B/3B görüntü ve hacim verilerini, geometrik modelleri, nümerik simülasyon verisini ve zaman serilerini açabilme
- Kesit hizalama ve görüntü filtreleme dahil olmak üzere görüntü işleme desteği
- Yeniden modelleme, yüzey oluşturma ve düzenleme

F. Medviso-Segment

Medviso-Segment, MR ve BT görüntüleri için bir analiz aracıdır [13]. Segment, Medviso tarafından Lund Cardiac MR Group-Lund University işbirliği ile geliştirilmiştir. Yazılım paketi, Radyoloji ve Kardiyoloji uygulamaları için de kullanılabilir. 3B ölçüm, ilgi bölgesi analizi, sinyal yoğunluğu analizi, konturları ve analizleri kaydetme fonksiyonlarını içerir. Bunlara ek olarak 3B bölütleme aracı da mevcuttur. 3B bölütleme modülü, 3B yazdırma ve makine öğrenmesi amaçları için kullanılabilir. Yazılım, yazılım kullanımı ile ilgili şartları sağlamak koşuluyla akademik araştırma amaçları için serbestçe kullanılabilir. Medviso-Segment, Windows ve Mac platformlarında kullanılabilir.

G. Seg3D

Seg3D [14], bir hacim bölütleme ve işleme aracıdır. NIH Center for Integrative Biomedical Computing-University of Utah Scientific Computing and Imaging (SCI) Institute tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır. 3B verilerin (BT, MR, 3B sayısal veri) bölütlenmesi ve görüntülenmesi için geliştirilmiştir. El ile esnek bölütleme fonksiyonu ile birlikte ITK kütüphanesinin otomatik bölütleme ve görüntü işleme fonksiyonlarını da bünyesinde barındırmaktadır. Kullanıcılara hacimsel görüntü üzerinden görüntü hacimlerini etiketleme imkânı vermektedir. Birçok yaygın biyomedikal görüntü formatını desteklemektedir. Açık kaynak kodlu ve ücretsiz olmasının yanı sıra Linux, Windows ve MacOSX gibi farklı işletim sistemleri üzerinde çalışabilmektedir. Seg3D'ye ait diğer bazı özellikler ise aşağıda sıralanmıştır:

- Manüel kontur belirleme ile entegre otomatik bölütleme
- Birçok yaygın biyomedikal görüntü formatını destekleme
- Insight Toolkit (ITK) ile görüntü işleme ve bölütleme

H. SmartPaint

SmartPaint, medikal hacim görüntülerinin etkileşimli bölütlenmesi için genel amaçlı olarak geliştirilmiş yazılımlardan birisidir [15]. Yazılım, Centre for Image Analysis and the Department of Radiology-Oncology and Radiation Sciences-Uppsala University tarafından geliştirilmiştir. SmartPaint, medikal görüntüler üzerinde fare işaretçisi ile işaretleme yaparak kullanıcının nesnelere bölütlenmesini sağlayan bir paint-brush aracına da sahiptir. Yazılım, farklı türde medikal veri ve farklı hedef bölütler içeren medikal görüntü veri setlerinde sınanmış ve oldukça az kullanıcı çabası gerektirdiği belirtilmiştir. MR ve BT gibi 3 boyutlu medikal veriler üzerinde çalışabilen yazılım, Windows işletim sistemi üzerinde



koşmaktadır ve ücretsiz olarak kullanılabilir. Yazılımın diğer bazı işlevleri ve özellikleri ise şu şekilde belirtilmiştir:

- VTK, DICOM, NIFTI, MetaImage gibi farklı görüntü biçimlerindeki hacimleri görüntüleyebilme
- Hızlı ve düzgün bölütleme için işaretleme araçları
- Bölütlere ait hacimsel istatistiklerin gösterimi

I. MiaLite

MiaLite [16], iki veya üç boyutlu veri setlerinden organları veya lezyonları etkileşimli olarak bölütlemeye imkan veren genel amaçlı bir görüntü bölütleme aracıdır [17]. Akademik kullanıcılar için bir araştırma aracı olarak oluşturulmuştur. Windows, Linux ve MacOS işletim sistemlerinde tek başına çalışabilen bağımsız bir yazılımdır. Osirix eklentisi olarak da çalışabilen MiaLite yazılımının daha çok Osirix ile birlikte kullanılması önerilmektedir. Veriler Osirix üzerinden içeriye veya dışarıya DICOM verisi olarak aktarım yapılmadan doğrudan MiaLite eklentisine gönderilebilmekte ve sonuçlar geri alınabilmektedir. Akademik kullanımı ücretsizdir.

J. MITK

MITK, etkileşimli medikal görüntü yazılımı geliştirilmesi için açık kaynak kodlu bir yazılımdır [18], [19]. Aynı zamanda ITK (Insight Toolkit) ve VTK (Visualization Toolkit) araçlarını bir platform altında birleştirmektedir. Bununla birlikte, araç olarak etkileşimli çok-etiketli bölütleme fonksiyonu da sağlamaktadır. Son kullanıcıların görüntü analizinde kullanabileceği temel görüntü işleme, veri yönetimi, geometrik ölçüm aracı imge çakıştırma vb. gibi birçok eklentisi mevcuttur. Uygulama geliştirme arayüzü (API) desteği ile yazılım geliştiricilere uygulama geliştirebilecekleri bir platform da sağlayan MITK; Windows, MacOS ve Linux işletim sistemleri üzerinde çalışabilmesi sayesinde platforma bağımlı kalmamaktadır. Yazılımın diğer işlevleri ise şunlardır:

- Eksik dilimlerin enterpolasyonu, yüzey ve hacim analizi
- Nokta tabanlı görüntü çakıştırma
- Açık ve mesafelerin ölçümü

III. SONUÇ

Bu çalışma dahilinde, klinik araştırmalarda ve mühendislik çalışmalarında MR görüntülerin bölütlenmesi amacıyla kullanılabilir olan medikal yazılım araçları çok detaylı olmamak üzere analiz edilmiş ve tanımlanmıştır. Bildiri kapsamında değerlendirilen yazılımlar temel olarak görüntülerde alan işaretleme ve bölütleme imkanı sunarken; bu yazılımlardan bir kısmı ise bölütleme işlevleriyle beraber görüntü çakıştırma, görselleştirme ve görüntü işleme vb. gibi işlevlere de sahiptir. MR görüntülerin el yordamıyla, yarı-otomatik veya tam-otomatik bölütlenmesinde kullanılabilir farklı medikal yazılım araçlarının tanıtıldığı ve bu araçlara ait işlevsel özelliklerin sunulduğu bu bildiride; ITK-Snap, 3D Slicer, Turtle-Seg, ImageJ, Amira, Medviso-Segment, Seg3D, SmartPaint, MiaLite, MITK olmak üzere 10 farklı medikal analiz yazılımı ele alınmıştır. Yapılan çalışmada temel olarak, MR görüntülerin bölütlenmesi ve bu görüntülerin niceliksel olarak değerlendirilmesi üzerine çalışma yürütecek olan araştırmacılara, klinik tedavi uzmanlarına ve cerrahlara yapacakları çalışmalar kapsamında istifade edebilecekleri yazılım araçları hakkında bilgi sağlanması ve fikir aşılınması amaçlanmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] D. J. Withey and Z. J. Koles, "A review of medical image segmentation: methods and available software," *International Journal of Bioelectromagnetism*, vol. 10, no. 3, pp. 125–148, 2008.
- [2] L. L. Khoo and L. S. Chuin, "A survey of medical image processing tools," *International Journal of Software Engineering and Computer Systems*, vol. 2, no. 1, pp. 10–27, 2016.
- [3] J. J. Caban, A. Joshi, and P. Nagy, "Rapid development of medical imaging tools with open-source libraries," *Journal of Digital Imaging*, vol. 20, no. 1, pp. 83–93, 2007.
- [4] P. A. Yushkevich, J. Piven, H. C. Hazlett, R. G. Smith, S. Ho, J. C. Gee, and G. Gerig, "User-guided 3d active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability," *Neuroimage*, vol. 31, no. 3, pp. 1116–1128, 2006.
- [5] (2018, Aug.) Itk-snap medical image analysis software. [Online]. Available: www.itksnap.org
- [6] A. Fedorov, R. Beichel, J. Kalpathy-Cramer, J. Finet, J.-C. Fillion-Robin, S. Pujol, C. Bauer, D. Jennings, F. Fennessy, M. Sonka et al., "3d slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network," *Magnetic resonance imaging*, vol. 30, no. 9, pp. 1323–1341, 2012.
- [7] (2018, Aug.) 3d slicer medical image analysis software. [Online]. Available: <https://www.slicer.org/>
- [8] A. Top, G. Hamarneh, and R. Abugharbieh, "Active learning for interactive 3d image segmentation," in *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*. Springer, 2011, pp. 603–610.
- [9] A. Top, G. Hamarneh, and R. Abugharbieh, "Spotlight: automated confidence-based user guidance for increasing efficiency in interactive 3d image segmentation," in *International MICCAI Workshop on Medical Computer Vision*. Springer, 2010, pp. 204–213.
- [10] C. A. Schneider, W. S. Rasband, and K. W. Eliceiri, "Nih image to imagej: 25 years of image analysis," *Nature methods*, vol. 9, no. 7, p. 671, 2012.
- [11] C. T. Rueden, J. Schindelin, M. C. Hiner, B. E. DeZonia, A. E. Walter, E. T. Arena, and K. W. Eliceiri, "Imagej2: Imagej for the next generation of scientific image data," *BMC bioinformatics*, vol. 18, no. 1, p. 529, 2017.
- [12] D. Stalling, M. Westerhoff, H.-C. Hege et al., "Amira: A highly interactive system for visual data analysis," *The visualization handbook*, vol. 38, pp. 749–67, 2005.
- [13] E. Heiberg, J. Sjögren, M. Ugander, M. Carlsson, H. Engblom, and H. Arheden, "Design and validation of segment-freely available software for cardiovascular image analysis," *BMC medical imaging*, vol. 10, no. 1, p. 1, 2010.
- [14] CIBC, 2016, seg3D: Volumetric Image Segmentation and Visualization. Scientific Computing and Imaging Institute (SCI), Download from: <http://www.seg3d.org>.
- [15] F. Malmberg, R. Nordenskjöld, R. Strand, and J. Kullberg, "Smartpaint: a tool for interactive segmentation of medical volume images," *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*, vol. 5, no. 1, pp. 36–44, 2017.
- [16] (2018, Aug.) Mialite image segmentation tool. [Online]. Available: <http://www.mialab.org/downloads.html>
- [17] C. Wang, H. Frimmel, and Ö. Smedby, "Fast level-set based image segmentation using coherent propagation," *Medical physics*, vol. 41, no. 7, 2014.
- [18] I. Wolf, M. Vetter, I. Wegner, T. Böttger, M. Nolden, M. Schöbinger, M. Hastenteufel, T. Kunert, and H.-P. Meinzer, "The medical imaging interaction toolkit," *Medical image analysis*, vol. 9, no. 6, pp. 594–604, 2005.
- [19] M. Nolden, S. Zelzer, A. Seitel, D. Wald, M. Müller, A. M. Franz, D. Maleike, M. Fangerau, M. Baumhauer, L. Maier-Hein et al., "The medical imaging interaction toolkit: challenges and advances," *International journal of computer assisted radiology and surgery*, vol. 8, no. 4, pp. 607–620, 2013.