

PAPER DETAILS

TITLE: Bilgisayarli Tomografi Görüntüleri Üzerinde Karaciger Bölgesinin Bilgisayar Destekli Otomatik Bölütleme Uygulamasi

AUTHORS: Emre DANDIL

PAGES: 712-728

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/801913>

An Application for Computer-Assisted Automatic Segmentation of Liver on Computed Tomography Images

Emre DANDIL^{1,*}¹Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 11210, Bilecik/TURKEY

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 11/02/2019

Revision: 09/08/2019

Accepted: 29/08/2019

Highlights

- Creating a new comprehensive liver dataset on CT scans
- An automated computer-assisted method for the segmentation of the liver
- An application software for segmentation process
- Using Region Growing and Fuzzy C-Means methods to segment liver region

Keywords

Liver
 CT Imaging
 Computer-Assisted Detection
 Image Segmentation
 Fuzzy C-Means
 Region Growing

In this study, an automated computer-assisted method for the segmentation of the liver on abdominal computed tomography (CT) images is proposed and an application software is developed for segmentation. The segmentation process is performed by using Region Growing (RG) and Fuzzy C-Means (FCM) methods by means of the developed application software. The similarities of segmentation results obtained by RG and FCM algorithms and the liver regions determined by the physician are measured quantitatively using the application software. As a result of experimental studies, RG algorithm is more successful than FCM algorithm both in terms of similarity rates and statistical results.

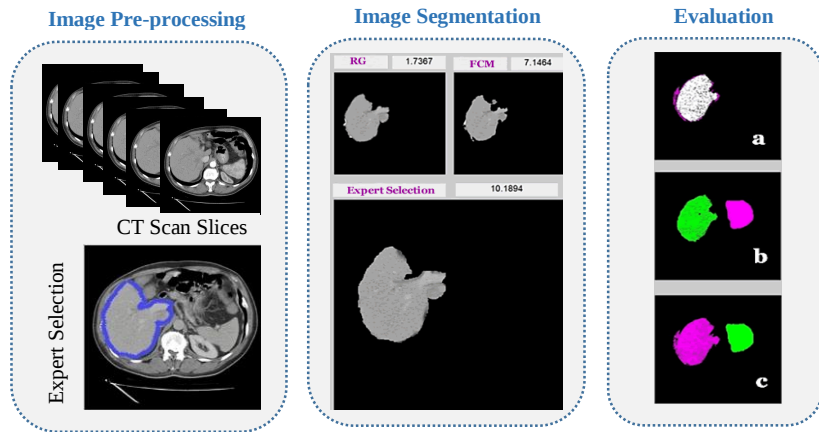


Figure A. Liver segmentation procedure on CT scans using proposed method

Purpose: The liver is a vital organ in the body. In liver-related diseases, especially CT scans, the delineation of the liver is essential for diagnosis and treatment planning. In order to improve the accuracy of the segmentation of liver, a computer-assisted method based on RG and FCM and an application software are proposed on abdominal CT images in this paper.

Theory and Methods: For the segmentation of the liver region, RG and FCM algorithms are used. In order to measure the performance of segmentation with these algorithms, a physician marked out the boundary of the liver. In the study, the segmentation results obtained by the RG and FCM algorithms are compared on the developed application software using physician selection criteria. Jaccard similarity criterion are used to compare segmentation results.

Results: In the experimental studies on 88 CT images, average performance values are obtained for 91.15% in the RG algorithm and 75.16% in the FCM algorithm according to the Jaccard similarity criterion. In computational times, the RG algorithm is more successful than the FCM algorithm, measured on average from 3.15 seconds to 7.50 seconds.

Conclusion: In the study, segmentation with the RG algorithm is more successful. In addition, the statistical significance of quantitative values obtained from similarity measurements is measured. It is concluded that the segmentation results obtained by the RG algorithm revealed a significant difference by evaluating the significance tests. Moreover, the segmentation process times are compared with both segmentation methods and segmentation with RG is found to be faster. The findings show that the proposed method can be used as a secondary tool in the decision-making process of physicians.



Bilgisayarlı Tomografi Görüntüleri Üzerinde Karaciğer Bölgesinin Bilgisayar Destekli Otomatik Bölütleme Uygulaması

Emre DANDIL^{1,*}

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 11210, Bilecik/TÜRKİYE

Öz

Son yıllarda, görüntüleme tekniklerinin gelişmesi sayesinde bilgisayar destekli tespit (BDT) sistemleri, tıbbi görüntü bölütlemeye yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. BDT’de görüntü işleme uygulamalarında en önemli aşama bölütleme işleminin yüksek doğruluk ile yapılmasıdır. Bu çalışmada, karın bölgesinden çekilen bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleri üzerinde karaciğerin bölütlenmesi için bilgisayar destekli otomatik bir yöntem ve bir uygulama yazılımı geliştirilmiştir. Karaciğer bölgesinin bölütleme işlemi için, bölge büyütme (RG) ve bulanık C-ortalama (FCM) algoritmalarından yararlanılmıştır. Bu algoritmalar ile yapılan bölütlemelerin başarımının ölçümü için, bir hekimden karaciğer sınırlarının belirlenmesi aşamasında uzman desteği alınmıştır. Çalışmada geliştirilen uygulama yazılımı üzerinde, uzman tarafından yapılan seçim ölçütü olarak kullanılarak, RG ve FCM algoritmaları ile elde edilen bölütleme sonuçları karşılaştırılmıştır. Bölütleme sonuçlarının karşılaştırılması için Jaccard benzerlik ölçütü kullanılmıştır. 88 BT görüntüsü üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda, Jaccard benzerlik ölçütüne göre, RG algoritmasında %91.15 ve FCM algoritmasında %75.16 bölütleme için ortalama başarımlar elde edilmiştir. Sonuç olarak RG algoritması ile yapılan bölütleme işlemlerinin daha başarılı olduğu görülmüştür. Ayrıca, benzerlik ölçümleri sonucunda bulunan nicel değerlerin istatistiksel olarak anlamlılık testlerinin değerlendirilmeleri de gerçekleştirilmiş ve RG algoritması ile elde edilen bölütleme sonuçlarının, anlamlı bir fark ortaya koyduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bunlara ek olarak, her iki bölütleme metodu ile bölütleme işlem zamanlarının karşılaştırmaları da yapılmış ve RG ile yapılan bölütleme işleminin daha hızlı olduğu görülmüştür. Elde edilen bulgular, önerilen yöntemin, hekimlerin karar verme aşamasında ikincil bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 11/02/2019

Düzeltilme: 09/08/2019

Kabul: 29/08/2019

Anahtar Kelimeler

Karaciğer
BT Görüntüleme
Bilgisayar Destekli Tespit
Görüntü Bölütleme
Bulanık C-Ortalama
Bölge Büyütme

Keywords

Liver
CT Imaging
Computer-Assisted Detection
Image Segmentation
Fuzzy C-Means
Region Growing

An Application for Computer-Assisted Automatic Segmentation of Liver on Computed Tomography Images

Abstract

In recent years, thanks to the development of imaging techniques, computer aided detection (CAD) systems have become widely used in medical image segmentation. The most important step in CAD image processing applications is to perform segmentation with high accuracy. In this study, an automated computer-assisted method and an application software for the segmentation of the liver on abdominal computed tomography (CT) images are developed. For the segmentation of the liver region, region growing (RG) and fuzzy C-means (FCM) algorithms are used. In order to measure the performance of segmentation with these algorithms, a physician marked out the boundary of the liver. In the study, the segmentation results obtained by the RG and FCM algorithms are compared on the developed application software using physician selection criteria. Jaccard similarity criterion are used to compare segmentation results. In the experimental studies on 88 CT images, average performance values are obtained for 91.15% in the RG algorithm and 75.16% in the FCM algorithm according to the Jaccard similarity criterion. As a result, segmentation with the RG algorithm is more successful. In addition, the statistical significance of quantitative values obtained from similarity measurements is measured. It is concluded that the segmentation results obtained by the RG algorithm revealed a significant difference by evaluating the significance tests. Moreover, the segmentation process times are compared with both segmentation methods and segmentation with RG is found to be faster. The findings show that the proposed method can be used as a secondary tool in the decision-making process of physicians.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsan vücudu için çok önemli hayati işlevlere sahip olan karaciğer kan ile alınan besinlerin işlenmesi gibi birçok görevi yerine getirmektedir. Tüm bunların yanında karaciğerde hepatit, siroz, kist ve tümör gibi birçok hastalıkta meydana gelmektedir. Bu şekilde karaciğerde oluşan hastalıklar son yıllarda, halk arasında hem sosyal hem de ekonomik yönden önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu problem sebebiyle de insanlar maddi ve madeni kayıplara uğramaktadır. Karaciğerde oluşan tümör gibi hastalıklar erken bir evrede teşhis edilirse, hastaların hayatta kalma şansı artabilmektedir. Bununla beraber karaciğer hastalıklarının, erken dönemde uyarı vermemesi hem erken tanı konulmasını zorlaştırmakta hem de kaybedilen hayatların sebebini tam olarak açıklamamaktadır. Bu durumda karaciğer hastalıklarının tanı aşamasında, Bilgisayar destekli tespit (BDT) sistemlerinin önemli bir yeri vardır. Çünkü hekim tarafından erken teşhis ve müdahale, iyileşme süresi ile doğru orantılı olarak görülmektedir.

Bilgisayarlı tomografi (BT), uzmanların bilgi edinmeleri ve karaciğer hastalıklarının incelenmesi için en sık kullanılan görüntüleme tekniğidir [1]. Görüntüleme yöntemlerinin geliştirilmesi ile karaciğerde oluşan hastalıkları tespiti için yüksek çözünürlüklü BT ile veri kümeleri elde etme mümkün olmuştur. Tıbbi bir veri kümesindeki çok sayıda görüntü nedeniyle, tüm bu görüntülerin kontrol edilmesi uzman için zor bir iş haline gelmektedir. Ayrıca teşhis için bazı yararlı bilgiler göz ardı edilebilir. Dahası teşhis koyacak olan uzmanın öznel değerlendirmesine dayalı ve uzmanın tecrübesine bağlıdır. Bununla birlikte BDT sistemleri ile radyolog, tıbbi görüntülerin bilgisayarlı analizi ile tümörlerin saptanmasında, yorumlama ve teşhis becerilerini artırarak hekim için ikincil bir görüş olarak bilgi verebilir.

Bilgisayarlı görüntüleme yöntemleri ile elde edilen veri miktarının artışı ile beraber anomalinin başka bir doku arasına gizlenmiş olması, dokuların benzer kontrast değerine sahip olması, görüntü hacminin büyük olması, göz yorgunluğu ve iş yükü vb. sebeplerden dolayı hekim tarafından tanı konulması zorlaşabilmektedir. Aynı zamanda anomalinin de kaçırılmasına sebep olmaktadır. Buna benzer durumlarda BDT sistemlerinin görüntü analizinde kullanılmasının gerekliliği kaçınılmaz olarak ortaya çıkmaktadır. BDT sistemlerinin hızla gelişmesi, tıbbi görüntülerin hızlı ve hassas bir şekilde bölütlemesi ile beraber oldukça dikkat çekmektedir.

BDT sistemleri genellikle ön işleme, bölütleme, özellik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarından oluşmaktadır [2]. Görüntü bölütleme ise BDT sistemlerinin en önemli aşamasıdır. Bölütleme bir görüntüyü önceden tanımlanmış ölçütlere göre benzer özelliklere sahip bölgelere veya nesnelere bölme işlemidir [3]. Karın BT görüntülerinden karaciğerin bölütlemesi, karaciğerde oluşan hastalığın doğru tespiti için çok önemli bir ön adımdır. Karaciğer bölütleme işlemi, BT görüntüsünden karaciğer bölgesini doğru bir şekilde çıkarmaktır. Özellikle, karaciğer karın bölgesinde ve hatta radyologların yardımıyla bölütleme için en zor organ olarak kabul edilmektedir [4]. Karaciğer yumuşak dokulardan yapıldığı ve hastalar arasında karaciğer geometrisinin farklılıklar gösterdiği için bu bölütleme sürecinin zorluğu karaciğer formunun kendisinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, karaciğer BT gri görüntülerinde aralarında sınırlı bir kontrast oluşturan kalp, mide ve böbrek gibi komşu organlarla benzer doku yoğunluğuna sahip olması, hasta hareketlerinin sebep olduğu bulanık sınırların oluşması bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında BT karaciğer görüntülerinden tümör bölütlemesi, sağlıklı dokular ve tümörler arasındaki küçük gözlemlenebilir değişiklikler nedeniyle de zorlu bir görevdir.

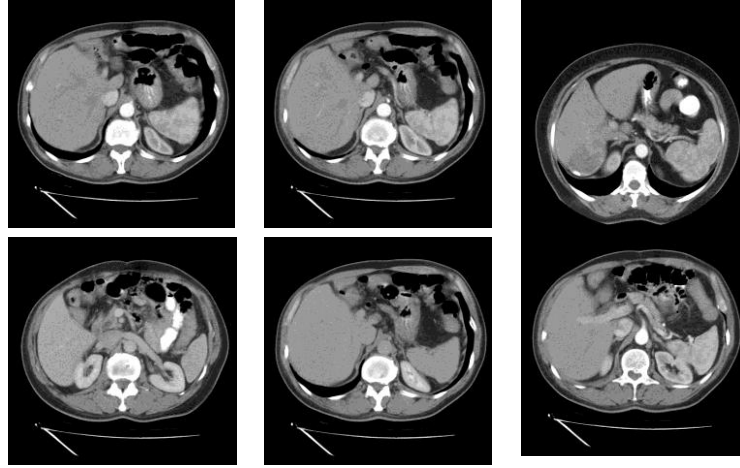
BT görüntü veri kümelerinde karaciğer bölütlemesi için çeşitli yaklaşımlar kullanılmıştır. Bazıları yarı otomatik iken, bazıları da tam otomatik olarak önerilmiştir. Yarı otomatik yöntemler, işlem için bilgisayara ilgilenilen bölgeyi belirtmek için kullanıcı müdahalesi gerektirir. Literatürde karaciğerin bölütlemesi için histogram/yoğunluk tabanlı eşik ve çok modlu eşikler [5, 6], karaciğerin istatistiksel atlas ve şekil tabanlı modeller [7, 8], Level-set [9, 10], active contour [11], yılan modeli [12, 13] ve FCM kümeleme algoritması [14] gibi yaygın olarak kullanılan bölütleme yöntemleri önerilmiştir. Bunlara ek olarak, literatürde karaciğer tümörlerinin tespiti amacıyla BT tarama görüntüleri üzerinde karaciğerin bölütlemesi için birçok çalışma bulunmaktadır. Kumar vd. [15] çalışmalarında, BT radyografilerinden karaciğer lezyonunun otomatik olarak bölütlemesini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar manuel bölütleme ile karşılaştırılmıştır ve değerlendirilmiştir. Bir diğer çalışmada, Häme vd. [16] ise geliştirdikleri yöntem ile yarı otomatik ve en az kullanıcı etkileşimi gerektirecek şekilde çalışan parametrik olmayan, yoğunluk tahminine dayanan ve gizli bir Markov ölçüsü modeline dayanan bir yaklaşım ile karaciğerin bölütlemesini gerçekleştirmiştir. Yöntemin doğruluğu, iki hasta veri seti ve yapay olarak üretilmiş örnekler ile

gösterilmiştir. Başka bir çalışmada da, Militzer vd. [17] çalışmalarında, BT görüntülerinden karaciğer bölgesini otomatik olarak tespit etmek ve bölütlemek için yeni bir sistem önermişlerdir. Sınıflandırma aşamasında olasılıksal bir yöntem kullanarak karaciğer lezyonunun otomatik olarak algılanarak bölütlemesini sağlamışlardır. Bir diğer çalışmada Ciecholewski [18], karaciğer şeklini otomatik olarak bölütleyen yeni bir yöntem sunmuştur. BT görüntüleri üzerinde bu yöntem ile yapılan bölütleme sonucunda Dice benzerlik katsayısı ile doğrulama sağlanmıştır. BT görüntüleri üzerinde karaciğer organının bölütlenmesi konusunda güncel çalışmalar incelendiğinde, daha çok otomatik olarak bölütleme yapan yöntemler öne çıkmaktadır. Shi vd. [19] çalışmalarında, bölge-tabanlı seyrek şekil birleştirmesi ile BT görüntülerini kullanarak karaciğer bölütlemesi gerçekleştirmişlerdir. Liao vd. [20] çalışmalarında, BT görüntüleri üzerinde graf tabanlı ve sınır adımlama ile karaciğerin otomatik bölütlemesini gerçekleştirmişlerdir. Huang vd. [21] çalışmalarında, BT görüntülerinden karaciğerin otomatik bölütlenmesi için graf tabanlı ve özellik tespitine dayalı bir yöntem önermişlerdir. Anter ve Hassenian [22] ise çalışmalarında, BT görüntüleri üzerinde nötrozofik kümeler, hızlı FCM ve adaptif watershed algoritmaları ile melez bir karaciğer bölütleme yöntemi önerilmiştir. Karaciğer bölütlemesi için graf tabanlı ve U-Net sinir ağlarına dayalı bir diğer çalışmada, Liu vd. [23] BT taramalarından karaciğerin bölütlemesini uygulamışlardır.

Literatürde daha önce önerilen çalışmalar incelendiğinde, özellikle karaciğer gibi yumuşak dokuya sahip organlar üzerinde, komşuluk piksellerinin durumlarını da dikkate alarak bölütleme veya kümeleme yapan yöntemler ile bölge tabanlı yöntemlerin daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir [22, 24, 25]. Bu çalışmada da karın bölgesinden alınmış BT görüntüleri üzerinde karaciğer bölgesinin ayrıştırılması için piksel tabanlı bölütleme yöntemlerinden başarılı olan bulanık C-ortalamaları (FCM) ve bölge tabanlı bölütleme yöntemlerinden bölge büyütme (RG) algoritmalarına dayalı olarak bir yöntem önerilmiştir. Çalışmada elde edilen bölütleme sonuçlarının uzman seçimi ile karşılaştırılması için bir uygulama yazılımı da geliştirilmiştir. Uygulama ile otomatik olarak elde edilen bölütleme sonuçları uzman seçimi ile elde edilen sonuçlar ile Jaccard benzerlik ölçütü ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca iki bölütleme yönteminin çalışma süreleri ölçülerek zaman karşılaştırılması da yapılmıştır. Ayrıca benzerlik ve zaman ölçütlerine göre yapılan karşılaştırma sonuçları da değerlendirilerek istatistiksel analiz de yapılmıştır. Çalışmanın sonraki bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde çalışma kapsamında oluşturulan ve kullanılan görüntü veriseti sunulmuştur. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan FCM ve RG bölütleme yöntemleri açıklanmış, dördüncü bölümde geliştirilen uygulama yazılımının detaylı açıklaması ile deneysel çalışmalardan bahsedilmiştir. Final bölümünde ise çalışmanın sonuçlarına değinilmiştir.

2. GÖRÜNTÜ VERİSETİ (IMAGE DATASET)

Bu çalışmada yer alan farklı hastalara ait BT görüntüleri Dr. Nafiz Körez Sincan Devlet Hastanesinin Radyoloji bölümünden temin edilmiştir. Taramaların elde edildiği BT cihazı GE marka olup 16 kesite kadar görüntü alabilmektedir. BT cihazının edinim parametrelerinden kesit toplamı 1.0 mm ve kesit genişliği 1.0 mm'dir. Taramalar 130 kV ve 75 mA'da alınmıştır. Karın (abdomen) bölgesinden taranan BT görüntüleri 26 farklı hastadan alınmış olup hastaların yaşları 32 ile 67 arasında değişmektedir. BT görüntüleri cihazdan DICOM formatında alındıktan sonra 512x512 piksel boyutuna dönüştürülmüştür. Her hastadan aksiyel düzlemde 28 ile 132 arasında farklı sayılarda karın bölgesinin kesiti alınmıştır. Uzman eşliğinde her hastadan en az 1 kesit olmak üzere toplamda çalışmada kullanılmak üzere toplamda 88 en uygun kesit belirlenmiştir. Daha sonra ön işleme teknikleri kullanılarak görüntü iyileştirilmesi ve görüntü üzerindeki gürültülerin giderilmesi sağlanmıştır. MATLAB programında geliştirilen uygulama yazılımı ile RG ve FCM algoritmaları kullanılarak karın BT görüntüleri üzerinde karaciğer bölgesinin bölütlenmesi sağlanmıştır. Verisetinde yer alan bu görüntülerin bir bölümü Şekil 1'de gösterilmiştir.



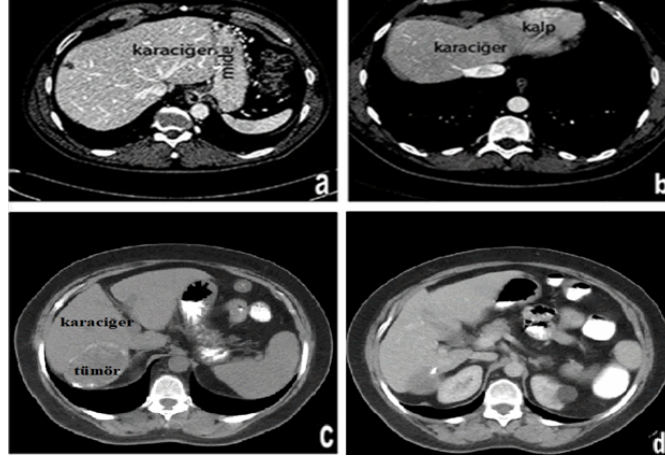
Şekil 1. Çalışma kapsamında oluşturulan BT görüntü verisetinin bir bölümü

3. GÖRÜNTÜ BÖLÜTLEME (IMAGE SEGMENTATION)

Genellikle ön işleme, bölütleme, özellik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarından oluşan BDT sistemlerinin en önemli aşamalarından birisi görüntü bölütleme sürecidir. Bölütleme bir görüntüyü önceden tanımlanmış ölçütlere göre benzer özelliklere sahip bölgelere veya nesnelere bölme işlemi olarak tanımlanabilir [26]. Görüntü bölütleme işleminden önce gürültüleri azaltmak, görüntüyü iyileştirmek için bazı ön-işleme prosedürleri işletilmektedir. Görüntü iyileştirme bir görüntüde oluşan bozulmaları ortadan kaldırmak için kullanılır[27]. Bu çalışmada ön-işleme aşamasında görüntüyü iyileştirmek ve görüntü üzerindeki gürültüleri yok etmek için bazı filtrelerden yararlanılmıştır. BT görüntüleri üzerindeki gürültüleri yok edebilmek için 3x3 medyan filtre tercih edilmiştir. Genleşme yöntemi ile BT görüntüsü üzerinde yapısal element ile birlikte gezerek görüntü genişletilmiş ve küçük boşlukların doldurulması sağlanmıştır.

Görüntü işlemede ilk adım nesne ayrıntılarının tanımlanmasıdır. Nesne tanımlandıktan sonra ilgili obje ile diğer objelerden ve arka plandan ayrılması gerekmektedir. Bu işlemden sonra ise piksellerin objeye ait olup olmadığı belirlenmektedir. Karın BT görüntüleri üzerinde karaciğerin başarılı bir şekilde bölütlenmesinin yapılabilmesi tamamen bölütleme algoritmasının başarısına bağlıdır. Bu çalışma için geliştirilen uygulama yazılımında bölütleme işlemi için bölge büyütme (Region Growing, RG) ve bulanık C-ortalamları (Fuzzy C-Means, FCM) yöntemleri kullanılmıştır. Bu algoritmalar ile elde edilen bölütleme sonuçları, bir uzman tarafından serbest seçimi yapılarak elde edilen bölütleme sonucu ile kıyaslanarak algoritmaların başarımları analizi gerçekleştirilmiştir.

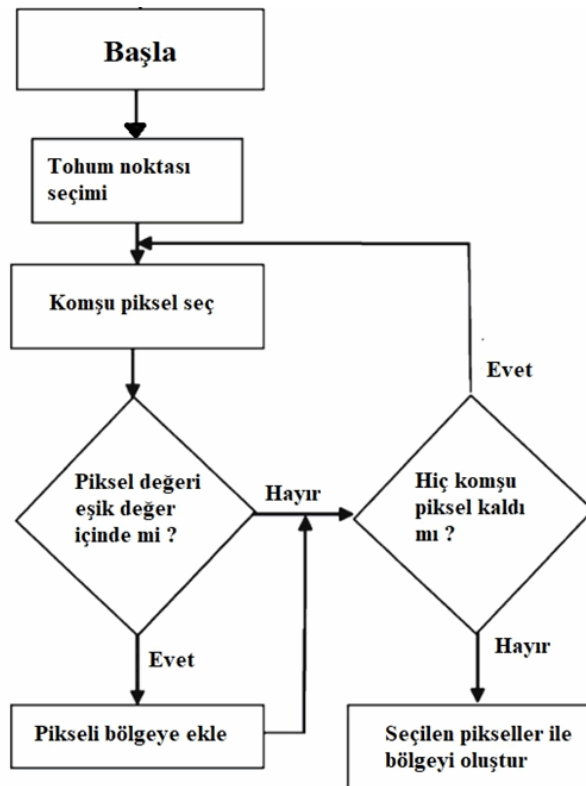
Karın BT görüntülerinin karaciğer üzerinde bölütleme işleminin kolaylıkla yapılmasında seçilen görüntünün de etkisi olabilmektedir. Bölütleme sırasında karaciğer görüntülerinin hastalar arasında yüksek değişkenlik göstermesi, tomografi çekimi esnasında hastaların hareketli olmasından kaynaklı bulanık sınırların oluşması, karaciğerin yanında yer alan böbrek, kalp, mide vb. komşu organlarla farklı pozisyonlara ve benzer yoğunluk değerlerine sahip olması bölütleme işleminin uygulanmasını zorlaştıran sebeplerdir. Şekil 2'de karaciğer bölütlemelerinde karşılaşılan zorluklara örnekler gösterilmektedir. Şekil 2 (a)'da mide ile karaciğer arasında belirsiz sınır, Şekil 2 (b)'de kalp ile karaciğer arasında belirsiz sınır, Şekil 2 (c)'de tümörlü karaciğer, Şekil 2 (c,d)'de ise değişken karaciğer şekli görülmektedir. Bu görüntüler üzerinde bölütleme işlemini yüksek doğrulukla yapabilmek oldukça zordur. Buna benzer bölütleme problemleri için uygun yöntemin belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde görüntü bölütleme alanında kullanılan birçok algoritma bulunmaktadır [21]. Bu çalışma için geliştirilen uygulama yazılımında bölütleme işlemi için RG ve FCM yöntemleri kullanılmıştır.



Şekil 2. BT görüntülerinde karaciğerin bölütlemesi aşamasında karşılaşılabilecek zorluklar

3.1. Bölge Büyütme (Region Growing)

Görüntü bölütleme için yaygın olarak kullanılan algoritmalarından birisi Bölge Büyütme algoritmasıdır [28]. Bölge büyütme (RG) algoritması, büyüme için önceden belirlenmiş bazı ölçütleri esas alarak pikselleri veya alt bölgeleri daha büyük bölgelere gruplayarak işlemi yürütür. Buradaki asıl yaklaşım, tohum noktası (seed point) ile başlamaktadır. Bu noktadan itibaren seçilen tohuma benzer özelliklere sahip olan komşu piksellerin eklenmesiyle bölge büyür. Bölgedeki piksellerin benzerlik oranı ne kadar fazla olursa dağılımda o denli düzgün bir yapıya sahip olur. Bu dağılım ister gri seviye olsun ister renkli seviye farklı görüntü türleri içinde geçerlidir. RG algoritmanın akış diyagramı Şekil 3'te sunulmuştur.

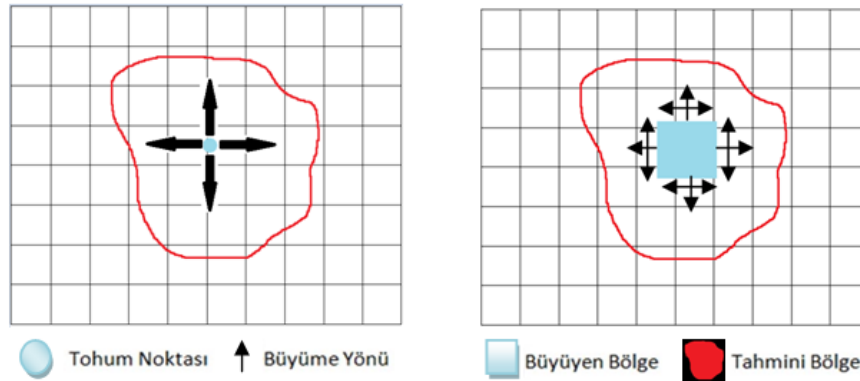


Şekil 3. RG algoritmasının akış diyagramı

RG yöntemleri genellikle aynı özellikleri barındıran bölgeleri doğru bir şekilde ayırdığı için çok iyi bölütlemeler sağlamaktadır. Burada dikkat edilecek bir husus ise tohum noktasının seçimidir. Burada karaciğer bölgesinin bölütlemesi yapılacağı için, tohum noktasının karaciğerin olduğu herhangi bir pikselden başlatılması gerekmektedir. Eğer seçim ilgili alanın dışında bir yerde yapılırsa ortaya çıkan

bölütleme de yanlış olacaktır. Birçok RG algoritmasında tohum noktası seçimi işlemi yarı otomatik yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu işlemin tam otomatik olarak gerçekleştirilmesi için ilgili alanın merkezi belirlenip bu noktanın koordinatlarının RG algoritmasının tohum noktası olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu önemli özelliklerinden dolayı bu çalışmada RG algoritması tercih edilmiştir.

Bölge büyütme algoritması adında anlaşılaçağı üzere seçilen bölgenin büyütülmesi şeklinde çalışan bir yapıya sahiptir. Burada kullanıcı tarafından bir tohum noktası seçimi yapıldıktan sonra komşu piksellerin eklenmesi ile bölge büyümeye başlar. Bölgenin nereye doğru büyüyeceğı ve ne kadar büyüyeceğı gibi sorulara cevap verebilmek için bu pikseller için belirlenen benzerlik kıstasına bakılır. İki görüntü arasındaki benzerlik kıstası için kullanılan eşik (threshold) değeri için literatürde bulunan çalışmalar referans alınmıştır [24, 29]. Yapılan deneysel çalışmalar ve analizlerde en uygun eşik değeri 0.065 olarak belirlenmiştir. Eğer komşu piksellerin sahip olduğı değer bu kıstasın içinde ise bölge kümesine dâhil edilir. Aksi durumda bölge kümesine dâhil edilmez. Komşu pikseller için belirlenen bu kıstas değer aralığında kalan piksel kalmadığı durumlarda ise algoritma sınırlara ulaşmış olur ve bölge büyümesi sonlandırır. Şekil 4'te bölge büyütme süreci gösterilmiştir.

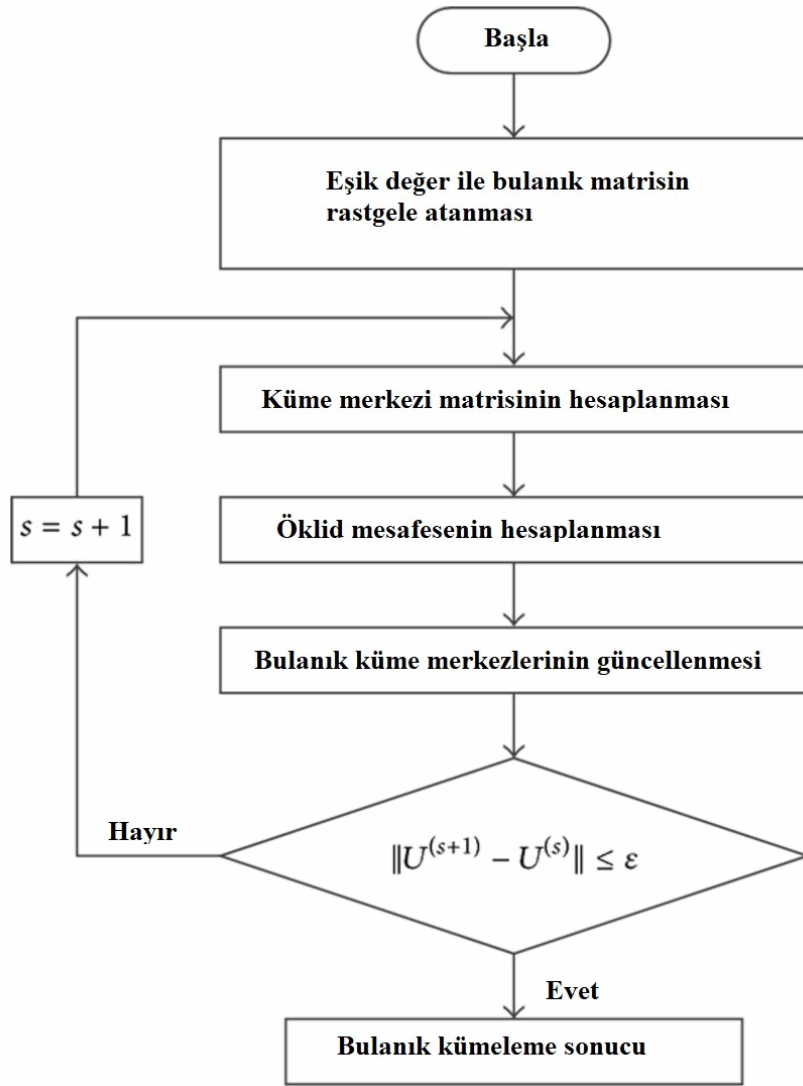


Şekil 4. RG algoritmasında bölge büyütme süreci

3.2. Bulanık C-Ortalamaları (Fuzzy C-Means)

Bulanık C-ortalamaları (FCM) algoritması kümeleme ve sınıflama işlemlerinde sıkça kullanılan ayırt edici bir kümeleme algoritmasıdır. FCM algoritması; medikal görüntüleme, örüntü algılama, veri madenciliğı, biyoinformatik gibi geniş kapsamlı mühendislik ve bilimsel disiplinlerde kullanılan ve görüntü bölütlemeye çok etkili olan danışmansız bir yöntemdir [30]. FCM algoritmasına ait akış diyagramı ise Şekil 5'te gösterilmiştir. Bulanık kümeleme teknikleri içerisinde en çok kullanılan yöntemlerden biri FCM'dir. Bu algorithmada, görüntü iki veya daha fazla kümeye ayrılarak bölütleme işlemi yapılır [31]. Bulanık mantık prensibi gereğı her verinin birer üyelik değeri bulunmaktadır. Her veriye 0 ile 1 arasında bir üyelik değeri atanmaktadır. Bu verilerin her sınıfa ait bir üyelik değeri bulunur ve bu sınıflara ait üyelik değerlerinin toplamı alındığında bu değer her zaman "1" olmalıdır. Veri bir kümenin merkezine yaklaştıkça o kümeye ait üyelik değeri artmaktadır. Bu durumda üyelik değeri büyük olan verinin o kümenin merkezine daha yakın olduğunu göstermektedir. FCM'nin işlem adımları aşağıda listelenmiştir.

- i. Üyelik matrisi tanımlanır ve matriste dahil edilen her birime (eleman) üyelik değeri atanır.
- ii. Üyelik değerlerini atadıktan sonra, her küme için merkez vektörleri hesaplanır.
- iii. Hesaplanan kümeleme merkezleri değerleri ile hesaplanan yeni değerlere göre yeni üyelik değerleri ve kümeleri bulunur.



Şekil 5. FCM algoritmasının akış diyagramı

4. GELİŞTİRİLEN UYGULAMA VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR (DEVELOPED APPLICATION AND EXPERIMENTAL RESULTS)

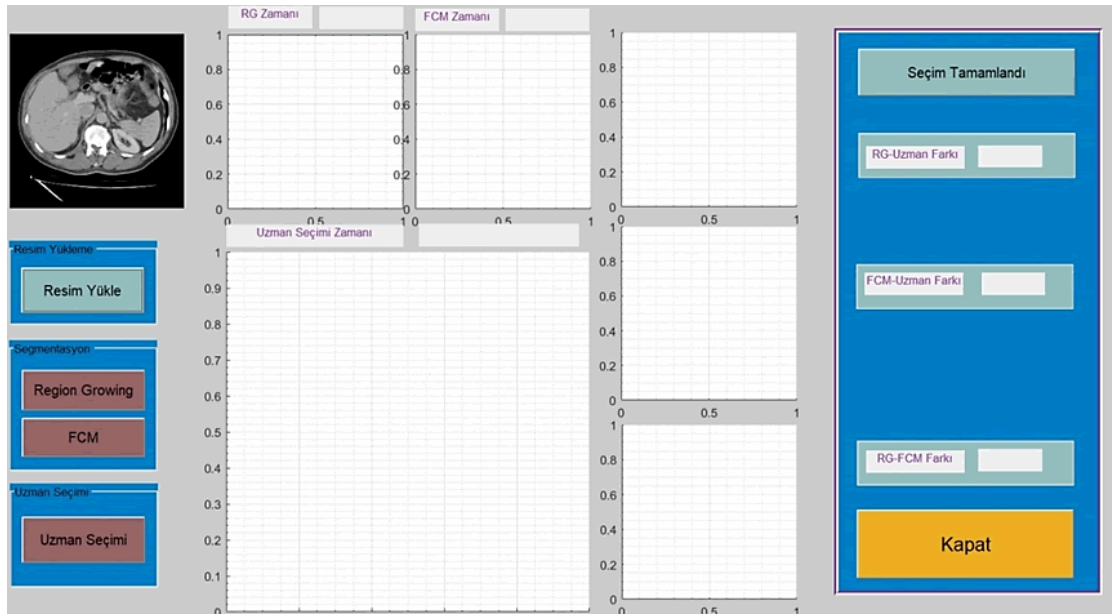
Bu çalışmadaki tüm işlemler ve deneysel çalışmalar MATLAB programında geliştirilen uygulama yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmadaki deneysel çalışmalar 16 GB bellek, 2.70 GHz i7 işlemci donanımı ve Windows 10 işletim sistemine sahip kişisel bilgisayar ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, karın BT görüntüleri üzerinde karaciğer bölütleneceği için, tohum noktasının karaciğerin olduğu herhangi bir pikselden başlatılması gerekmektedir. Eğer seçim ilgili alanın dışında bir yerde yapılırsa ortaya çıkan bölütleme de yanlış olacaktır. Bu nedenle, RG algoritmasında tohum noktası seçimi işlemi yarı otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. RG algoritmasında, iki görüntü arasındaki benzerlik kıstası için kullanılan eşik değeri yapılan deneysel çalışmalar ve analizlerde en uygun 0.065 olarak belirlenmiştir.

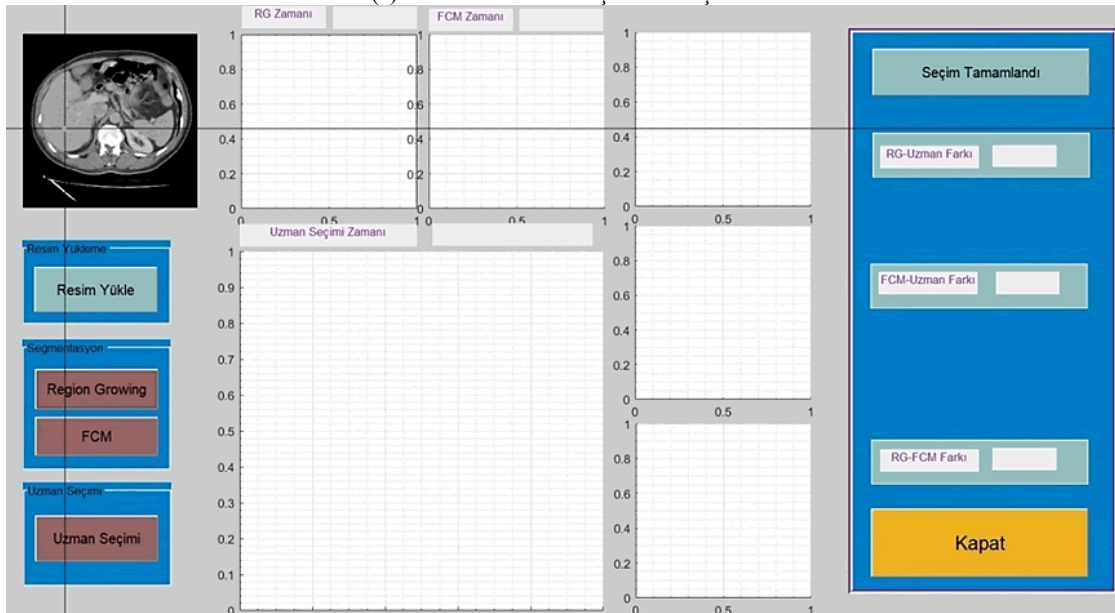
FCM kümeleme algoritmasında küme sayısı karaciğer bölgesi ve diğer kısımlar olmak üzere 2 olarak belirlenmiştir. FCM’ de, her bir kümenin merkezi alındıktan sonra, her bir verinin hangi kümeye ait olacağını gösteren üyelik fonksiyonları, sırasıyla tam üyeliği ve üyelik olmadığını gösteren 1 ve 0 değerleri arasında ayarlanmıştır. FCM algoritmasında iterasyon sayısı 100 olarak alınmış olup, her iterasyonda en iyi çözüm için kümelerin konumları minimize edilmektedir. Her bir iterasyonda minimum ilerleme değeri $1e-5$ alınmıştır.

4.1. Geliştirilen Uygulama Yazılımı (Developed Application)

Bu çalışmada için geliştirilen uygulama yazılımında, karın BT görüntüleri üzerinde karaciğer bölgesinin bölütlemesi için RG ve FCM yöntemleri ile bölütlemesi yapılmıştır. Daha sonra bölütleme sonuçları ile uzman seçim sonucu karşılaştırılmıştır. Geliştirilen uygulama yazılımının ana form ekranı Şekil 6'da gösterilmiştir. Uygulama yazılımının ana form ekranında da görüleceği üzere, yüklenen BT görüntüsünün RG ve FCM algoritmaları ile bölütlenmesi için ayrı kısımlar bulunmaktadır. Ayrıca uzman seçimi ile algoritmalarının sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için uzmanın BT görüntüsü üzerinde karaciğer bölgesini seçim yapıp bölütleyebileceği bir modül de bulunmaktadır. Uygulama yazılımı ile görüntü bölütleme aşaması için ilk işlem bir BT görüntüsünün yüklenmesidir. Şekil 6 (a)'de karın bölgesinden alınmış bir BT görüntüsünün FCM algoritması ile işleme alınma ekranı gösterilmiştir. Şekil 6 (b)'de ise görüntünün bölütlenmesi için RG algoritması ile başlangıç/tohum noktası seçimi gösterilmektedir. Başlangıç noktasının doğru bir şekilde seçilmesi ile RG algoritması hızlı ve doğru bir şekilde bölütleme yapılabilir.



(a) FCM ile bölütleme işlemine başlama

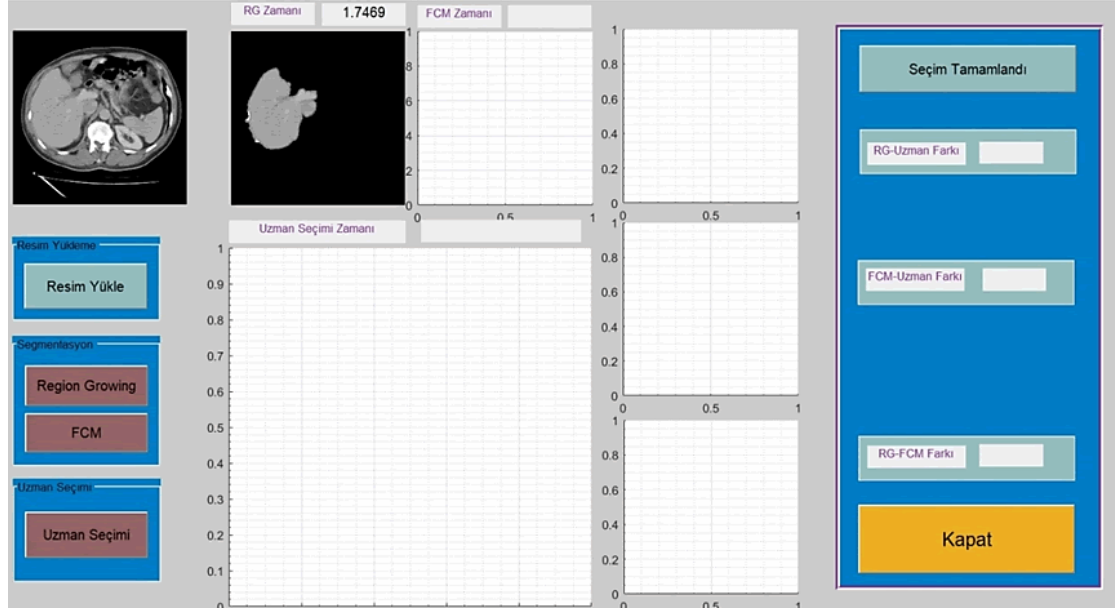


(b) RG ile bölütleme işlemine başlama

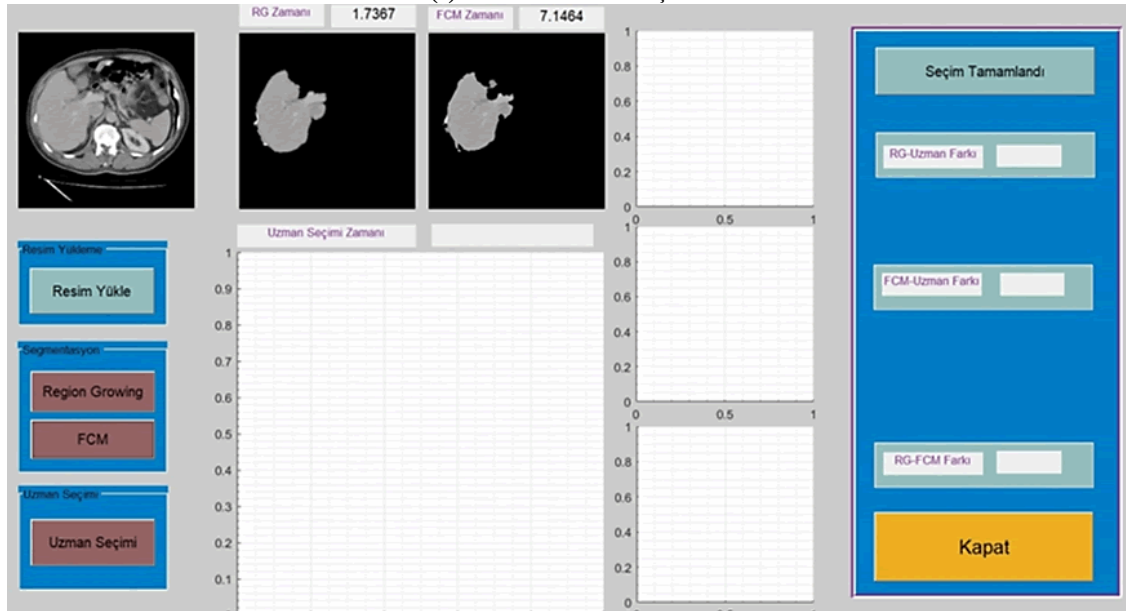
Şekil 6. Geliştirilen uygulama yazılımı ana form ekranı ve BT görüntüsü yükleme

Şekil 7 (a)'da FCM algoritması ile yapılan bölütleme ve işlem süresi yer almaktadır. FCM kümeleme algoritması ile görüntü iki veya daha fazla kümeye ayrılabilir. Bu çalışmada ise görüntü karaciğer

bölgesi ve karaciğer bölgesi dışındaki alan olmak üzere iki kümeye ayrılmıştır. RG algoritması ile başlangıç noktası seçildikten sonra, bölge büyütme süreci belirlediğimiz eşik değere göre büyümeye başlamakta ve sınır değerlerine ulaştığında ise algoritma çalışmasını sonlandırmaktadır. RG algoritmasına ait bölütleme sonucu ve algoritmanın çalışması sırasında harcanan zaman saniye cinsinden Şekil 7 (b)'de gösterilmiştir. Buradan, FCM algoritması RG algoritmasına göre çalışma süresi daha uzun olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin FCM'nin RG gibi bir noktadan başlayarak bir alanı taramak yerine tüm görüntüyü tarayacak şekilde çalışmasının da etkili olduğu düşünülmektedir.



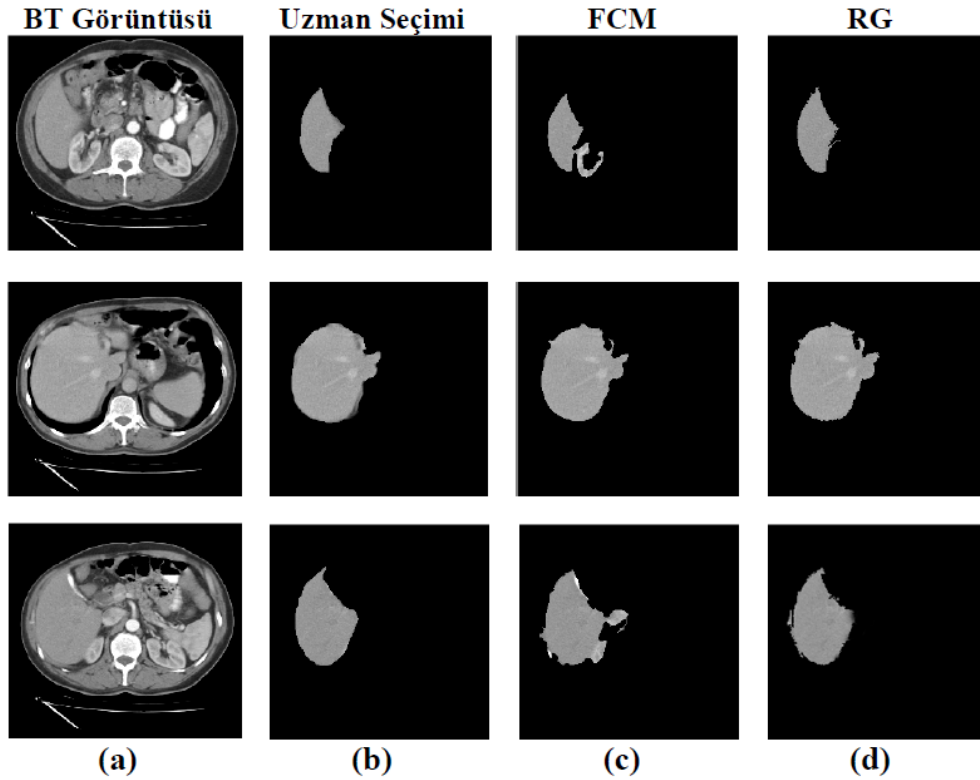
(a) FCM ile bölütleme işlemi



(b) RG ile bölütleme işlemi

Şekil 7. Uygulama yazılımı üzerinde FCM ve RG algoritmaları bölütleme sonuçları ve işlem süreleri

RG ve FCM algoritmaları ile yapılan bölütleme sonuçlarının başarımını test edebilmek amacı ile uzman seçimine ihtiyaç duyulmaktadır. Uzman, uygulama yazılımı üzerinde karın BT görüntüsü üzerinde karaciğerin yerini başarı ile çıkarabilmektedir. Uzmara yardımcı olması amacı ile geliştirilen uygulama yazılımının ise uzman başarımına ne ölçüde benzerlik sağladığı tespit edilmektedir. Şekil 8 (a)'da uygulama yazılımı ile BT görüntüsü üzerinde karaciğer bölgesinin bir uzman tarafından seçimi gösterilmiştir. Uzman seçimi butonuna tıklandıktan sonra yükleme bölümündeki BT görüntüsü uzmana kolaylık olması için büyütülerek ekrana gelmektedir. Fare yardımı ile uzman seçim işlemi yapılmakta ve işlem sonunda



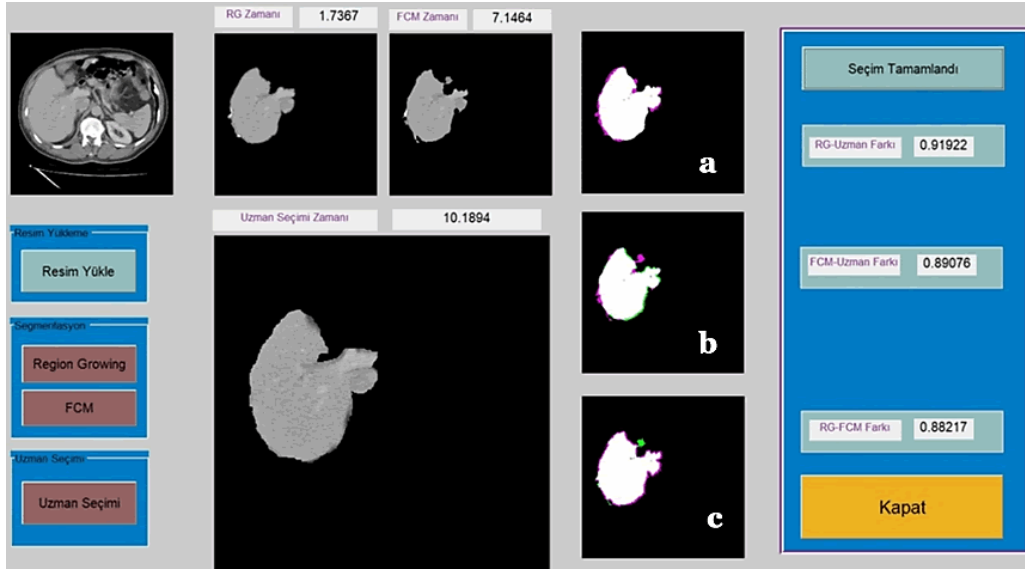
Şekil 9. BT görüntüleri üzerinde Uzman-FCM-RG bölütleme sonuçlarının karşılaştırılması

Karın BT görüntüleri üzerinde karaciğer bölgesinin RG ve FCM yöntemleri ile bölütlenmesi ve bu sonuçların uzman görüşü ile Jaccard [32] benzerlik formülü kullanılarak bölütleme işlemi sonuçlarındaki benzerlikler ölçülmüştür. Aynı zamanda uzman seçimi, RG ve FCM yöntemlerinin ne kadar sürede işlemi tamamladığı gibi performans ölçümleri de yapılmıştır. Bölütleme yöntemleri X ile gösterilir ve uzman seçimi ise Y ile gösterilirse o zaman Jaccard benzerlik formülünü gösteren eşitliği Eşitlik (1)' deki gibi gösterilebilir.

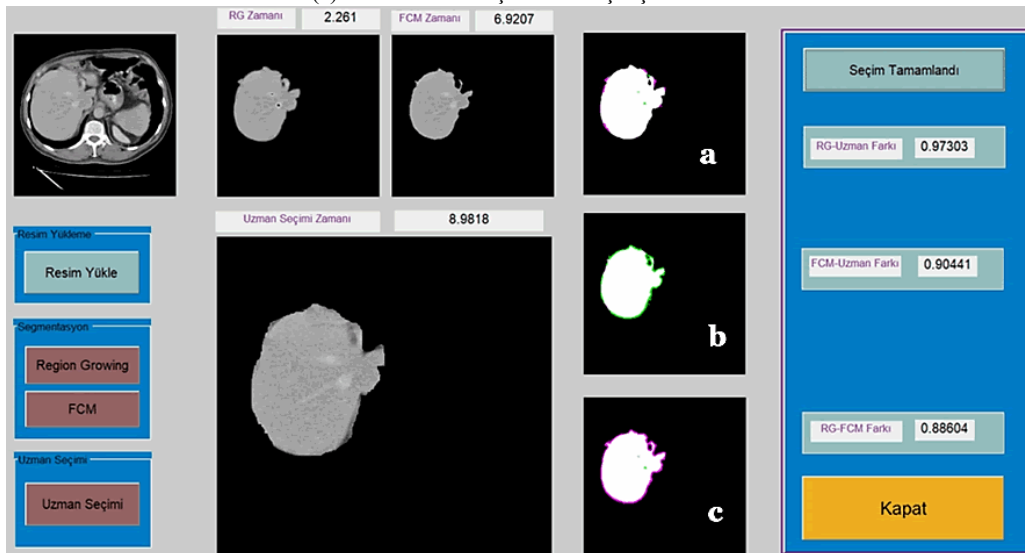
$$J(X, Y) = \frac{|X \cap Y|}{|X \cup Y|} \quad (1)$$

Şekil 10'da RG ve FCM yöntemlerinin bölütleme sonuçları ile uzman seçim sonucunun Jaccard benzerlik formülü ile karşılaştırılma sonucu gösterilmektedir. Şekil 13 üzerinde (a) bölümünde RG ile uzman seçimi arasındaki fark, (b) bölümünde FCM ile uzman seçimi arasındaki fark, (c) bölümünde ise RG ile FCM arasındaki fark ve karşılaştırmaları gösterilmiştir. Görüntüde yer alan beyaz renkler karşılaştırmadaki ortak alanı ifade ederken, mor renk sadece birinci görüntüde olan kısmı, yeşil renk ise sadece ikinci görüntüde olan kısmı ifade etmektedir.

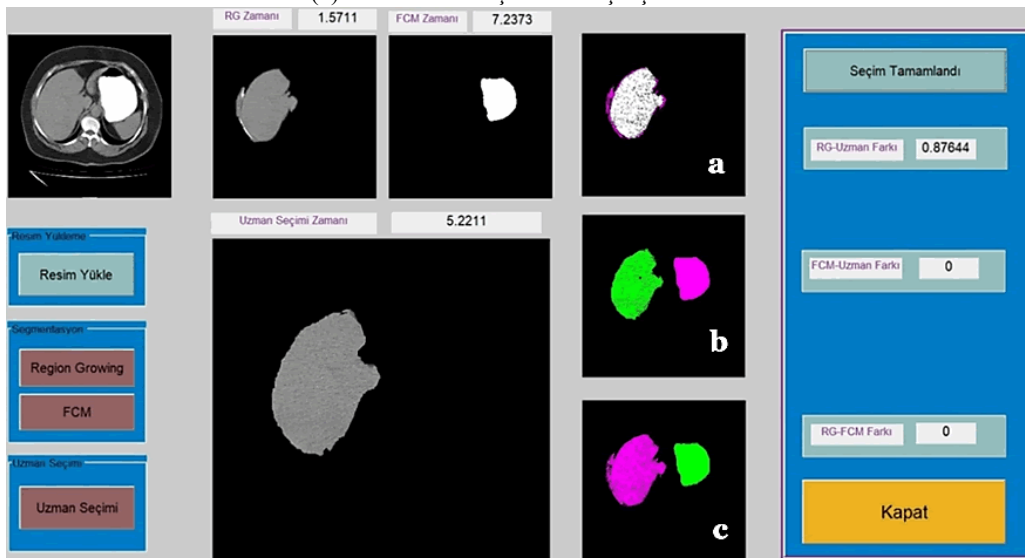
Şekil 10 (a)'da uygulama yazılımı üzerinde karşılaştırma sonuçlarına ait RG algoritmasının daha başarılı olduğu bir bölütleme sonucu gösterilmektedir. Bununla birlikte benzerlik oranlarına bakıldığında, RG için %91.9 ve FCM için %89.1 değerleri ile bu görüntü için iki algoritmanın yakın performans gösterdiği görülmektedir. Şekil 10 (b)'de yine karşılaştırma sonuçlarına ait görüntüde RG algoritmasının başarı oranının yüksek olduğu bir sonuç gösterilmiştir. Burada RG ile uzman seçimi arasında %97.3 oranında yüksek oranda benzerlik görülmektedir. Şekil 10 (c)'de FCM algoritmasının yanlış kümeleme yaptığını gösteren deneysel bir çalışmanın sonucu görülmektedir. Burada da görüleceği üzere FCM algoritması BT görüntüsü üzerinde karaciğer yerine başka bir bölgenin bölütlemesini gerçekleştirmiştir.



(a) Bölütleme sonuçlarının karşılaştırılması



(b) Bölütleme sonuçlarının karşılaştırılması



(c) Bölütleme sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 10. RG ve FCM algoritması ile uzman seçimi bölütleme sonuçlarının karşılaştırılması

Verisetinde yer alan 88 Karaciğer BT görüntü üzerinde yapılan çalışmalarda RG yöntemi ile bulunan sonuçlarda Jaccard benzerlik ölçütüne göre ortalama %91.15 benzerlik oranı elde edilmiştir. Bu durum FCM yöntemine göre bakıldığında ise %75.16 olarak bulunmuştur. Ayrıca, çalışmada yer alan iki algoritmanın işlem süreleri saniye cinsinden karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlara göre ise RG algoritmasının daha kısa sürede sonuca ulaştığı için zaman kriterine göre daha iyi performans gösterdiği yorumu yapılabilir. Hesaplama sürelerinde 88 BT görüntüsü için RG ortalama 3.15 saniye ile ortalama 7.50 saniye olarak ölçülen FCM algoritmasına göre zaman kriterinde RG algoritmasının daha başarılı olduğu görülmüştür.

Bu deneysel çalışmalara göre RG algoritması ile yapılan bölütlemelerin hem benzerlik oranları bakımından hem de daha hızlı bir işlem süresine sahip olması bakımından FCM algoritmasından daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu durum anlamlılık testleri yardımıyla geliştirilen yazılımda bulunan bölütleme sonuçlarının anlamlılığının değerlendirilmesi ile doğrulanmıştır. Bu amaçla 25 BT görüntüsünün RG ve FCM algoritmaları ile elde edilen benzerlik oranlarının Tablo 1'deki gibi istatistiksel değerlendirme yapılmıştır.

Veriler programa girildikten sonra verisetinde uç değer kontrolü yapılmıştır. Yapılan kontrol sonucunda oluşan uçdeğerler veri setinden çıkarılmıştır. Sonuç olarak normallik koşulu sağlanmadığı için parametrik olmayan testlerden Mann-Whitney U Testinin uygulanması gerekmektedir. Bu test, bağımsız örneklemeler için uygulanan T testinin parametrik olmayan halidir. Mann-Whitney U Testi sonucuna göre p değeri 0.44 olarak bulunmuştur. Bu durumda benzerlikler arasındaki farkın seçilen yönteme göre anlamlı bir fark olduğu ve RG algoritmasının FCM'ye göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bir diğer durumda ise sıra toplam ve sıra ortalama değerlerinde RG algoritmasının daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu veriden, RG algoritmasının benzerlik açısından FCM algoritmasına göre daha başarılı bir sonuç ürettiği çıkarılabilir.

Tablo 1. BT Görüntüleri benzerlik oranları ve işlem süreleri

Sıra	BT Görüntü ID	RG	FCM	RG-(t)	FCM-(t)
1	150	0,904	0,892	1,768	7,555
2	152	0,925	0,91	2,031	7,389
3	153	0,868	0,856	1,788	7,323
4	179	0,973	0,904	2,261	6,92
5	181	0,895	0,913	2,587	8,685
6	182	0,926	0,893	1,852	6,715
7	183	0,819	0,804	1,988	7,094
8	186	0,829	0,792	2,028	9,803
9	213	0,909	0,895	1,595	4,698
10	216	0,852	0,827	1,435	7,198
11	10	0,929	0,664	5,343	7,841
12	21	0,886	0,863	2,393	6,184
13	57	0,87	0,842	2,466	8,243
14	58	0,847	0,815	2,07	4,709
15	12	0,847	0,809	2,42	6,043
16	218	0,86	0,423	1,679	7,371
17	215	0,886	0,814	2,556	5,273
18	180	0,94	0,911	2,301	6,295
19	184	0,794	0,78	2,62	8,701
20	188	0,797	0,753	2,35	10,995
21	217	0,808	0,788	2,453	7,2
22	214	0,949	0,895	2,837	6,205
23	72	0,944	0,911	1,94	8,527
24	155	0,816	0,788	4,766	13,639
25	151	0,9	0,886	3,098	7,067

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada karın (abdomen) BT görüntüleri üzerinde karaciğerin yerinin tespit edilerek bölütlenmesi için bir uygulama yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama yazılımı ile Bölge Büyütme (RG) ve Bulanık C-Ortalamaları (FCM) yöntemleriyle bölütleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulama yazılımı kullanılarak RG ve FCM algoritmaları ile elde edilen bölütleme sonuçları ile uzman hekim tarafından seçilen karaciğer yerinin benzerlikleri nicel olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda benzerlik oranları RG için % 91.15 ve FCM için %75.16 olarak elde edilen verilere göre RG algoritması, benzerlik oranları dikkate alındığında FCM algoritmasına göre daha başarılı olmuştur. Bunun yanında, elde edilen benzerlik sonuçları için istatistiksel olarak anlamlılık testleri uygulanmıştır. İstatistiksel test sonuçlarına bakıldığında nicel olarak RG algoritmasının, FCM algoritmasından daha başarılı olduğu durumunun, nitel olarak da anlamlı bir fark gösterdiği görülmüştür. Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen BDT sisteminin, uzmanların karar alma sürecine katkı sağlayacak ve işlem süresini azaltarak iş yükünü hafifletecek yardımcı bir araç olarak kullanılması öngörülmektedir.

Çalışmada bölütleme benzerlik ölçütü dışında yer alan bir diğer performans kriteri olarak ise hesaplama süreleri değerlendirilmiştir. Hesaplama sürelerinde, RG ve FCM algoritmalarının her bir görüntü için ortalama bölütleme sonuçları kıyaslanmıştır. Hesaplama sürelerinde 88 BT görüntüsü için RG ortalama 3.15 saniye ile ortalama 7.50 saniye olarak ölçülen FCM algoritmasına göre zaman kriterinde RG algoritmasının daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada önerilen BDT uygulamasının karın BT görüntüleri üzerinde karaciğerin yerinin belirlenmesinde işlemleri hızlandığı ve kişisel bazlı öznel olarak oluşan hataların önüne geçmede rol oynayabileceği değerlendirilmektedir. Buna ek olarak, önerilen BDT sisteminin uzmanların karar alma sürecinde yararlanabilecekleri ikincil bir araç olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışmada kullanılan BT görüntüleri Dr. Nafiz Körez Sincan Devlet Hastanesinin Radyoloji bölümünden alınmıştır. Katkılarından ve verileri sağlamasından dolayı Dr. Nafiz Körez Sincan Devlet Hastanesine teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] D. Pescia, Segmentation of liver tumors on CT images, Ecole Centrale de Paris, MAS laboratory, 2011.
- [2] Z. Ekşi, E. Dandıl, M. Çakıroğlu, Computer-aided bone fracture detection, 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU'12), Fethiye, Turkey, 18-20 April, 2012.
- [3] S. Gül, G. Çetinel, Meme Manyetik Rezonans Görüntüleme Lezyon Sınırlarının ve Alanının Tespit Edilmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22:1(2018) 108-127.
- [4] X. Lu, The study and application of the improved region growing algorithm for liver segmentation, School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baoto, 2013.
- [5] K. S. Seo, Improved fully automatic liver segmentation using histogram tail threshold algorithms, ICCS 2005, pp. 822–825, 2005.
- [6] K. Yokoyama, T. Kitasaka, K. Mori, Y. Mekada, J. L. Hasegawa, J. L. Toriwaki, Liver region extraction from 3D abdominal X-ray CT images using distribution features of abdominal organs, Journal of Computer Aided Diagnosis of Medical Images, 7:4-3(2003) 48-58.
- [7] O. Toshiyuki, S. Ryuji, H. Masatoshi, N. Masahiko, W. C. Yen, N. Hironobu, S. Yoshinobu, Automated Segmentation of the Liver from 3D CT Images Using Probabilistic Atlas and Multilevel Statistical Shape Model, Academic Radiology, 15:11(2008) 1390-1403.

- [8] X. Zhou, T. Kitagawa, K. Okuo, T. Hara, H. Fujita, R. Yokoyama, M. Kanematsu, H. Hoshi, Construction of a probabilistic atlas for automated liver segmentation in non-contrast torso CT images, International Congress Series, 1281, pp.1169-1174, 2005.
- [9] S. Pan, B. M. Dawant, Automatic 3D segmentation of the liver from abdominal CT images: a level-set approach, Medical Imaging 2001: San Diego, CA, USA, pp. 128-138, 2001.
- [10] J. Lee, N. Kim, H. Lee, J. B. Seo, H. J. Won, Y. M. Shin, Y. G. Shin, S. H. Kim, Efficient liver segmentation using a level-set method with optimal detection of the initial liver boundary from level-set speed images, Computer Methods and Programs in Biomedicine, 88:1(2007) 26-38.
- [11] G. Bekes, L.G. Ny'ul, E.M'at'e, A. Kuba, M. Fidrich, 3D segmentation of liver, kidneys and spleen from CT images, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 2:1(2007) 45-46.
- [12] F. Liu, B. Zhao, P. K. Kijewski, L. Wang, L. H. Schwartz, Liver segmentation for CT images using GVF snake, Medical Physics, 32:12(2005)3699-3706.
- [13] S. Huang, B. Wang, X. Huang, Using GVF Snake to Segment Liver from CT Images, International Summer School and Symposium on Medical Devices and Biosensors, MIT, Boston, IEEE-EMBS, pp. 145-148, 2006.
- [14] J.-S. Hong , T. K. R. Sekiguchi, K.-H. Park, Computer-aided Diagnostic System Based on Liver CT image, MVA2000 IAPR, Workshop on Machine Vision Applications, pp. 419-422, 2000.
- [15] S. S. Kumar, R. S. Moni, J. Rajeesh, An automatic computer-aided diagnosis system for liver tumours on computed tomography images, Computers and Electrical Engineering, 39(2013)1516-1526.
- [16] Y. Häme, M. Pollari, Semi-automatic liver tumor segmentation with hidden markov measure field model and non-parametric distribution estimation, Medical Image Analysis, 16(2012)140-149.
- [17] A. Militzer, et al., Automatic detection and segmentation of focal liver lesions in contrast enhanced CT images, IEEE 2010 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), 2010.
- [18] M. Ciecholewski, Automatic liver segmentation from 2D CT images using an approximate contour model, Journal of Signal Processing Systems, 74:2(2014)151-174.
- [19] C. Shi, Y. Cheng, F. Liu, Y. Wang, J. Bai, S. Tamura,. A hierarchical local region-based sparse shape composition for liver segmentation in CT scans. Pattern Recognition, 50:(2016) 88-106.
- [20] M. Liao, Y. Q. Zhao, X. Y. Liu, Y. Z. Zeng, B. J. Zou, X. F. Wang, F. Y. Shih, Automatic liver segmentation from abdominal CT volumes using graph cuts and border marching. Computer methods and programs in biomedicine, 143:(2017) 1-12.
- [21] Q. Huang, H. Ding, X.Wang, G. Wang, Fully automatic liver segmentation in CT images using modified graph cuts and feature detection. Computers in biology and medicine, 95: (2018)198-208.
- [22] A. M. Anter, A. E. Hassenian, CT liver tumor segmentation hybrid approach using neutrosophic sets, fast fuzzy c-means and adaptive watershed algorithm. Artificial intelligence in medicine, 97:(2019) 105-117.
- [23] Z. Liu, Y. Q. Song, V. S. Sheng, L.Wang, R. Jiang, X. Zhang, D. Yuan, Liver CT sequence segmentation based with improved U-Net and graph cut. Expert Systems with Applications, 126:(2019) 54-63.
- [24] X. Lu, J. Wu, X. Ren, B. Zhang, Y. Li, The study and application of the improved region growing algorithm for liver segmentation. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 125(9):(2014) 2142-2147.

- [25] A. Gotra, L. Sivakumaran, G. Chartrand, K. N. Vu, F. Vandenbroucke-Menu, C. Kauffmann, A. Tang., Liver segmentation: indications, techniques and future directions. *Insights into imaging*, 8(4):(2017) 377-392.
- [26] R. Gonzalez, R.E. Woods, S.L. Eddins, *Digital Image Processing Using Matlab*, Prentice Hall, USA, 2004.
- [27] S. Öztürk, N. Öztürk, Yapay Arı Koloni Algoritması Kullanılarak Görüntü İyileştirme Yönteminin Geliştirilmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji GU J Sci Part:C*, 4:4(2016)173-183.
- [28] D. Sönmezer, Counting mitosis with region growing method on histopathological images, Master Thesis, Erciyes University, 2012.
- [29] O. F. Abd-Elaziz, M. S. Sayed, M. I. Abdullah, (2014, April). Liver tumors segmentation from abdominal CT images using region growing and morphological processing. *IEEE International Conference on Engineering and Technology (ICET)*, pp. 1-6, 2014.
- [30] R. Suganya, R. Shanthi, Fuzzy C-Means Algorithm- A Review, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2:11(2012).
- [31] R. Kruse, C. Borgelt, D. Nauck, Fuzzy Data Analysis: Challenges and Perspectives, *IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems 1999 (FUZZIEEE99)*, Seoul, pp. 1211-1216, 1999.
- [32] P. Jaccard, The distribution of the flora in the alpine zone, *NewPhytologist*, 11:2(1912) 37-50.