



Papers Produced from Turkish Articles and PhD Theses Presented at
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Yıldız Technical University
Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkçe Makaleler ve Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi Kapsamında Hazırlanan Yayın



Research Article / Araştırma Makalesi BONE TUMOR SEGMENTATION FROM CT IMAGES

Hatice ÇATAL REİS*, Bülent BAYRAM

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler-İSTANBUL

Received/Geliş: 29.02.2016 Accepted/Kabul: 23.09.2016

ABSTRACT

Computer Aided Diagnosis (CAD) is one of the important topics of radiology and medical image processing. CAD systems brings second opinion to physicians by using algorithms and related software for diagnosis and treatments. In this study, an automatic and semi-automatic bone tumor extraction methods have been proposed. Bone tumors have been extracted from CT images. Proposed study consists of five steps which are; (i) pre-processing, (ii) segmentation, (iii) morphologic filtering, (iv) 3D modelling, (v) analysis and interpretation. MATLAB platform and 3D-Doctor software have been used for 2D and 3D processing respectively. This study has been realized by using retrospective nine CT data (male-female). Obtained results have been validated with clinical findings of radiology and orthopedic experts. Accuracy assessment of the study has been done by ROC curve.

As a result of the study, it has been observed that besides increasing accuracy of diagnosis, CAD systems are capable to prevent misdiagnosis due to heavy working conditions and lack of concentration of physicians. Distinguish between bone tumors and tissues which resembling bone tumors is quite difficult. Therefore, it is thought that, proposed methods in this study can contribute other studies for diagnosis and treatment purposes, especially for cancerous lesions.

Keywords: Digital image processing, CT, CAD, tumor.

CT GÖRÜNTÜLERİNDEN KEMİK TÜMÖRLERİNİN ÇIKARTILMASI

ÖZ

Bilgisayar destekli tanı (BDT/CAD) sistemleri radyoloji ve görüntü işlemenin önemli konularından birisidir. CAD, yazılım algoritmalarını kullanarak tıbbi görüntülerden tanı ve hekim yorumlarına destek ikincil görüş sunan sistem bütünüdür. Çalışmada, Bilgisayarlı Tomografi (BT) görüntüleri kullanılarak görüntü işleme yardımıyla kesitlerden, otomatik ve yarı-otomatik olarak tümörlerin çıkartılması amaçlanmıştır. Bu tez çalışması beş aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; (i) ön görüntü işleme, (ii) bölütleme, (iii) morfolojik adımlar, (iv) 3B modelleme, (v) yorumlama ve analiz aşamalarıdır. 2B yaklaşım Matlab ortamında ve 3B yaklaşım 3D-Doctor programı kullanılarak uygulama yapılmıştır.

Dokuz adet hastanın (kadın-erkek) ayak BT görüntüleri kullanılarak çalışma yapılmıştır. Üretilen uygulama sonuçları ile ortopedist ve radyologa ait klinik bulgu raporu karşılaştırılmıştır. Analizler ROC eğrisi ile hesaplanmıştır.

CAD sistemlerin kullanımı ile tanı doğruluğunun artırılabilirdiğini, hekimin iş yükünün azaltılabildiğini, aşırı iş yükü veya yorgunluktan kaynaklanan yanlış tanıların önlenilebileceği gözlemlenmiştir.

Kemik yapısı dolayısı ile kemik tümörü ve tümöre benzeyen dokuların ayırt edilmesi bazı durumlarda oldukça zordur. Dolayısıyla sunulan çalışmanın tanı ve tedavilerde özellikle kanserli dokular için altlık oluşturabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Sayısal görüntü işleme, BT/CT, CAD, tümör.

* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: hatice.catal@yahoo.com.tr, tel: (505) 548 30 87
Doktora Öğrencisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

1. GİRİŞ

CAD tıbbi görüntülerde, sayısal görüntü işleme ve yapay zeka tekniklerini kullanarak radyolog ya da ilgili hekim için kesin olmayan anomalili alanları çıkarmaya yardımcı olan ikincil görüştür.

Tıbbi görüntüleme, hastaların durumu ve klinik bulguların doğru şekilde sunulması açısından önem arz eder. İlk Bilgisayar Destekli Tanı 1963 yılında Lodwick vd. tarafından primary tümör tanısı ile yapılmıştır [1]. Tıbbi açıdan zor problemlerin hızlı ve doğru şekilde çözümü için yapılan çalışmada radyolojide Bilgisayar Destekli Tanı (Computer-Aided Diagnosis (CAD))'ya dayalı bir planlama sunulmuştur [2]. Ardından pek çok araştırmacı bu sistemi takip etmiştir. Araştırmacılar [3], iyi huylu kemik tümörlerinin CAD ile tanısı ve histolojik tipleri arasındaki ilişkiyi belirtmek amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Diğer bir çalışmada, CT görüntüleri yardımıyla kemik tümörü biyopsisinde tümörlü çekirdek bölge ile yumuşak doku ve diğer bölgelerin ayrıştırılması amaçlanmıştır [4]. Henüz tanısı konulmamış primer kemik tümörlerinde radyografi optimal yöntem olarak sunulmaktadır, tümörün biyolojik özellikleri, büyüme oranı, sınıflandırılması, karakterizasyonunda, sınırlarını belirlemekte önemli rol oynamaktadır [5]. Radyologlar kemik tümörlerinin evrelemede önemli bir görev üstlenmektedir. Başka bir çalışmada [6], yaygın olarak görülmeyen ayak ve bileğinde tümör ve tümör benzeri lezyonların spektrumu verilmiştir, tümörün tanısı ya da yer tespiti, görüntüleme özellikleri, klinik bulgularla ilgisi sunulmuştur. Tıpta, kesin ve tekrarlanabilir bilgi akışı genellikle eksik kalmaktadır [7]. Tanı ve sonuç raporları düzenleyen hekimin tecrübe ve bilgisine dayalı olarak hazırlanmaktadır. Bu yüzden CAD sistemleri genel, tekrarlanabilir, doğruluk oranı kişiye bağlı olmaksızın yüksek veri üreten sistem bütünüdür.

Tümörler, gerek tedavilerinde gerek tanılarında kesin ve tek bir görüş birliğinin olmaması sebebiyle, hem hasta hem de hekim için zorlu hastalık grubudur [8]. Çalışmada, ayağa ait Multi-dedektörlü Bilgisayarlı Tomografi (MDBT) görüntüleri kullanılarak görüntü işleme yardımıyla tümör, kesitlerden otomatik olarak çıkartılarak tümörlerin üç boyutlu modellenmesi amaçlanmıştır. Bu araştırmanın diğer bir hedefi ise doğru tanı konularak, hızlı ve yönlendirici tedaviye ışık tutmaktır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde ayak tümörlerinde karşılaşılan tümörün alanı, sınıflandırılması, konumu, gelişim yönü tespitlerinin yeterli doğrulukta yapılamamasının karşılaşılan en önemli sorunlar olduğu görülmüştür. Çalışma, CAD sistemlerinin kullanımı ile tanı doğruluğunun artırılabilmesini, iş yükünün azaltılabilmesini, aşırı iş yükü veya yorgunluktan kaynaklanan yanlış tanıların önlenilmesini öngörmektedir.

Çalışma için geliştirilen algoritmada tümörlü bölgenin çıkartılması işlemi dört aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; (i) ön görüntü işleme, (ii) bölütleme, (iii) morfoloji, (iv) yorumlama ve analizdir. Matlab ortamında ve 3D-Doctor programları kullanılarak ayak BT görüntülerinden kalkaneus kemiğindeki tümörlü kesitler tespit edilmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Bölütleme (Segmentasyon)

Görüntü bölütleme, bir görüntüyü kendi içerisinde farklı özelliklerin tutulduğu anlamlı bölgelere ayırmak olarak tanımlanabilir [9]. Standart her görüntüye uygulanabilir bir bölütleme yöntemi yoktur ve hiçbir bölütleme yöntemi ideal yöntem değildir. Bölütleme için tasarlanan yöntemler ve bu yöntemlerin başarımları, görüntüden görüntüye ve uygulama alanına bağlı olarak değişiklikler göstermektedir.

Bölütleme algoritmaları ilkesel olarak, gri seviye değerlerinin iki temel özelliğinden birine dayalı olarak tasarlanırlar. Gri seviye değerlerindeki (i) süreksizlik (discontinuity) ve (ii) benzerlik (similarity) özelliklerine bağlıdır [9].

2.1.1. Piksel Tabanlı Bölütleme

Nokta tabanlı ya da piksel tabanlı segmentasyon tekniği; bölütleme en basit yaklaşımdır. Görüntü histogramı baz alınarak işlem yapılmaktadır. Görüntüde arka plan ve nesne piksel değerleri bir eşikle değerle ayrılarak segmentasyon bu eşik değerine göre yapılmaktadır. Böylece arka plan ve nesne birbirinden ayrılmaktadır [10].

2.1.2. Kenar Tabanlı Bölütleme

Kenar tabanlı bölütlemeye, görüntünün gri seviyelerinde ani değişikliklerin olduğu bölgeler kenar olarak tanımlanır. Nesne tanımada ilk adım, bir görüntüyü nesnelere bölünen farklı homojen bölgelere ayırabilmektir. Nesnelere fiziksel özellikleri ile kenarları doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla görüntünün pek çok fiziksel özelliği kenar bilgisinden ortaya çıkarılabilir. Kenar tabanlı bölütleme yöntemi ardışıl bir yöntemdir. İlk önce eğimine göre maksimum nokta görüntü satır satır taranarak belirlenmektedir. Başlangıç noktasına gelene kadar bu tarama devam eder. Başlangıç noktasına ulaşıldığında bir sonraki maksimum nokta bulunur ve tarama devam eder [10].

2.1.3. Bölge Bölütleme

Bölge tabanlı bölütleme tekniğinde, bir piksel nesne olarak algılanır ve sadece gri değerine bakılarak işleme devam edilir. Bölge bölütlemeye, bir görüntüdeki benzerlikleri dikkate alarak görüntünün farklı bölgelere ayrılması prensibine dayanır. Her piksel grubunun benzer yoğunlukta olması önem arz eder. Bunun anlamı küçük bir alan nesnenin pikseli olarak sınıflandırılıyor olmasıdır [10].

2.2. Canny Operatörü

Canny algoritması, 1986 yılında Canny tarafından önerilmiştir [11]. Canny kenar çıkartma operatörü, işleme başlamadan önce görüntüyü Gaussian fonksiyonunun ilk türevine karşılık gelen bir filtreden geçirmektedir. Diğer kenar çıkartma algoritmalarına bu yönüyle üstünlük sağlamaktadır. Kenar çıkartma operatöründen iyi kenar çıkartma, kenar yerlerini doğru belirleme ve hafızada az yer kaplaması gibi özellikler beklenmektedir [11].

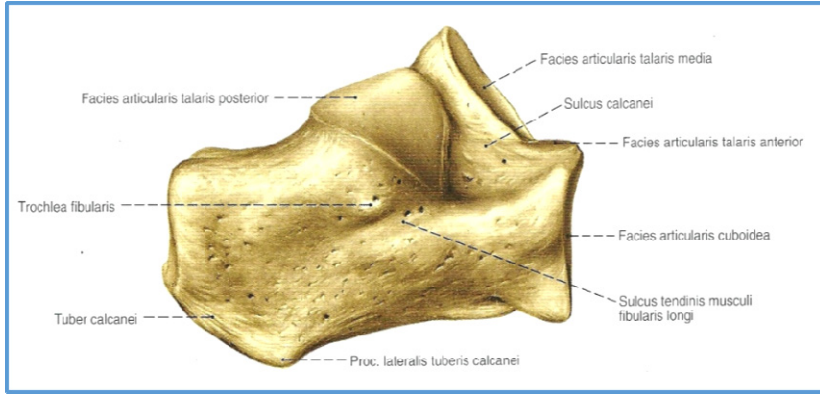
2.3. Watershed

Algoritma, gri değerli görüntüden parametrik olmayan yöntem ile kenar çıkartma amacıyla geliştirilmiş bölge temelli (region-based) yaklaşımlı tekniktir [12]. Watershed dönüşümü, orijinal görüntüye değil onun gradyanına uygulanmaktadır. Algoritma gri değerlerin homojenliğine dayalı bir segmentasyon yöntemidir. Watershed dönüşüm algoritmasında, görüntünün topolojisi kullanılarak bölütleme yapılmaktadır [13].

3. UYGULAMA

3.1 Kalkaneus Anatomisi

Kalkaneus tarsal kemiklerin en büyüğü olup, Kalkaneus özelleşmiş yapısı ve şekli ile vücut ağırlığını yere iletmekte ve bacak kaslarına bir kaldıraç görevi görmektedir [14], [15]. Kalkaneus'un üst yüzü ön ve arka olmak üzere iki parça halinde değerlendirilir (Şekil 1).



Şekil 1. Kalkaneus lateral yüzü [16]

3.2. Ayak Kemik tümörlerinin sınıflandırılması

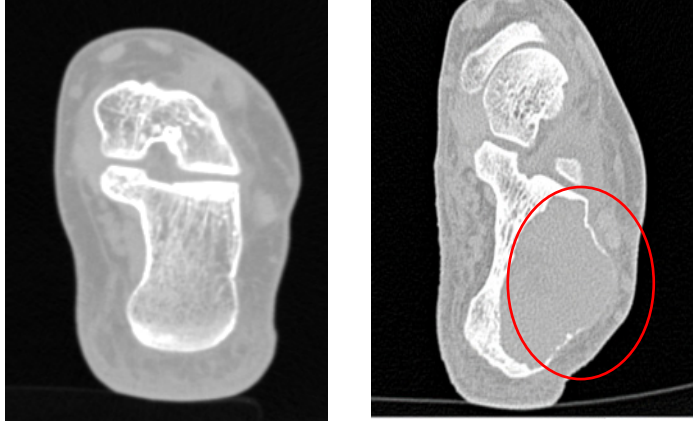
- İyi huylu kemik tümörleri
- İyi huylu/Agresif kemik tümörleri
- Kötü huylu kemik tümörleri [17].

3.3. Bilgisayarlı Tomografi

Bilgisayarlı Tomografinin (BT/CT) teorisi 1963 yılında Cormack tarafından ortaya atılmıştır [18]. Bilgisayarlı Tomografi ile ilk başarılı klinik çalışma 1967 yılında G.Hounsfield tarafından gerçekleştirilmiştir. X-ışını bilgisayarlı tomografi sisteminin gantrisinde X-ışın tüpü ve detektörler bulunmaktadır. BT, x-ışınlarının dokudan yansıyan ışınlarının dedektör de toplanarak bilgisayar ortamında aktararak görüntü elde edilmektedir.

3.4. Uygulama ve Veri Setlerinin Özellikleri

MDBT Ayak görüntüleri, Doç. Dr. Volkan Gürkan tarafından Bezmialem Vakıf Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi veri tabanından sağlanmıştır. Ayakların taranmasında kullanılan parametreler ise; kesit kalınlığı 0,5-3mm, mA 100, kV 120, piksel aralığı 512x512 piksel, 16 bit gri düzeyi sağlayan tek renkli çözünürlük şeklinde seçilmiştir. Aksiyal görüntüler DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında alınmıştır. Matlab ortamında ve 3D-Doctor programında BT kesitlerinden tümörlü kesitler tespit edilmiştir. Dokuz adet kalkaneus kemiğinde tümör veya tümör benzeri lezyonu olan hastanın MDBT görüntüleri çalışmada test verisi olarak kullanılmıştır. Deneysel örnek kesit verileri Şekil 2 ve Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 2. Sağlıklı bireye ait kalkaneus kesiti Şekil 3. Tümörlü Kalkaneus kesiti

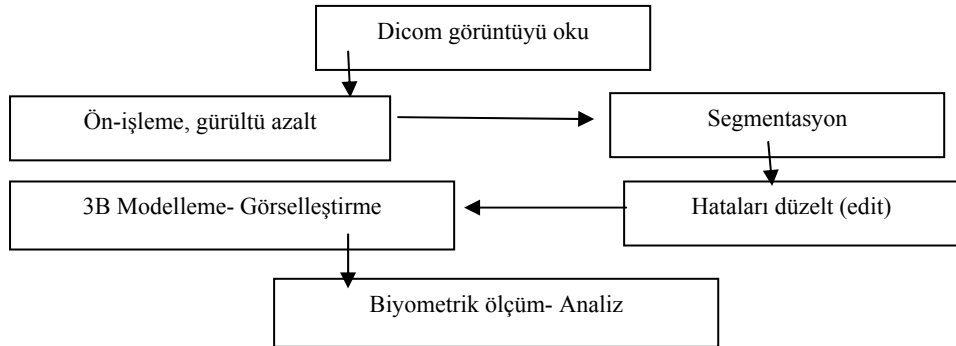
Kullanılan bilgisayar özellikleri;

İşlemci: Intel Core i7 (2.20 GHz),

RAM: 6.00 GB,

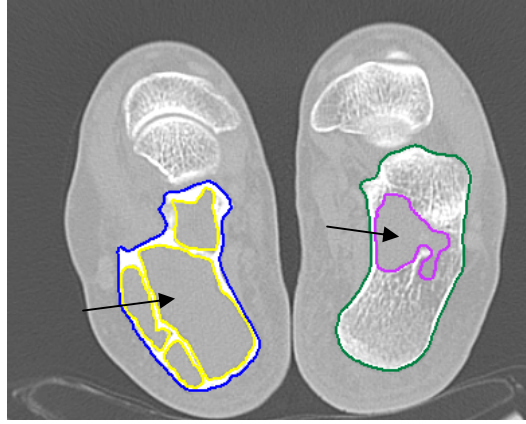
Sistem Türü: 64 Bit işletim sistemi

Matlab platformunda geliştirilen 2B algoritmalar Watershed ve Canny yöntemleridir. Interaktif segmentasyon ve 3B tümör modelleri 3D-Doctor programı ile yapılmıştır. Çalışmada takip edilen işlem adımları Şekil 4’te gösterilmiştir.

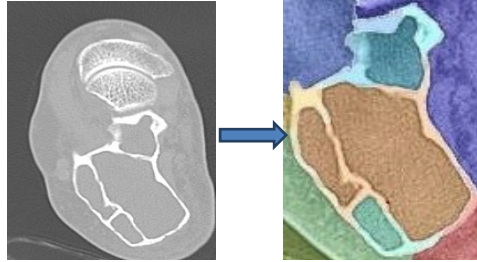


Şekil 4. Uygulama algoritmasının iş akışı

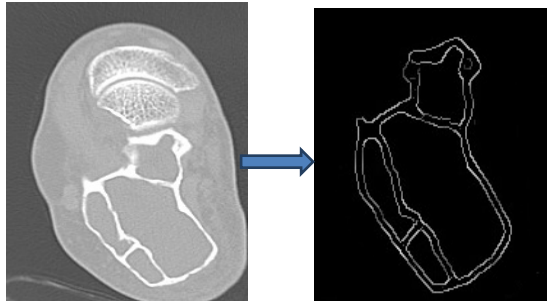
Kişisel bilgisayara “dicom” formatındaki kesitler transfer edilmiştir, sonraki adımda ön görüntü işleme adımları yapılmıştır ardından Canny, Watershed ve Etkileşimli segmentasyon yöntemleri uygulanarak kesitlerden 2B tümörlü bölgeler otomatik olarak çıkarılmıştır. 3B model oluşturmadan önce etkileşimli segmentasyon sonuçlarına hata düzeltme parametreleri uygulanmıştır. Hataları giderilen kesitlerden 3B model oluşturularak model üzerinden biyometrik ölçümler yapılarak analiz sonuçları üretilmiştir. Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de BT orijinal verileri ve segmentasyon sonucu üretilen görüntüler, Şekil 8’de 3B tümör modelinin deneysel sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 5. Interaktif segmentasyon



Şekil 6. (a) Orijinal görüntü, (b) Watershed algoritması uygulanan görüntü



Şekil 7. (a) Orijinal görüntü, (b) Canny algoritması uygulanan görüntü



Şekil 8. 3B tümör modeli örnekleri

İstatiksel analiz;

Çalışmada, tümör ve tümör benzeri lezyona sahip kesitler ile sağlıklı kesitlerden ne kadar doğrulukta ayırt edilebildiğinin bilinmesi önem arz eder. Tıbbi karar verme sürecinde, testin ayırt ediciliğini belirlemek için kullanılan genel yöntem ROC (Alıcı İşlem Karakteristikleri (Receiver Operating Characteristic)) eğrisidir [19], [20]. Anomali ve tümör vakalarında en iyi istatiksel yöntem ROC analizi olarak kabul edilmektedir [21], [22], [23]. Canny ve Watershed yöntemleri kalkaneus tümör bölütlemesinde iyi sonuçları üretmiştir. Değerlendirme ve yorumlamada dört farklı performans ölçütü doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve F-ölçütü kullanılmıştır. Çalışmada, doğruluk ve F-ölçütü performans değerlendirmesi için kullanılmıştır. Bu üretilen sonuçlar; interaktif yöntemde; doğruluk %99, F-ölçütü %0.98, canny operatöründe; doğruluk %0.79, F-ölçütü %0.74, watershed algoritmasında; doğruluk %0.83, F-ölçütü 0.79 olarak hesaplanmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Segmentasyon yöntemleri nicel başarısı ve karşılaştırılabilir analizi, Etkileşimli (İnteraktif) Bölütleme > Watershed Algoritması > Canny Algoritması şeklindedir.

Kemiğin yapısı dolayısı ile kemik tümörü ve tümöre benzeyen dokuların ayırt edilmesi bazı durumlarda oldukça zordur. CAD yöntemi ile bu benzeş durum çalışmada kolaylıkla aşılmıştır. Tümör tedavisine uygun tedavi yönteminin seçilmesi doğru tanının konulması ile doğrudan bağlantılıdır. Ön tanının doğru konulabilmesi için CAD önemli bir yardımcı elemandır.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Lodwick G.S., Haun C.L., Smith W.E., Keller R.F. and Robertson E.D., "Computer diagnosis of primary bone tumors", A prelim. Report, 80: 273-5, 1963.
- [2] Lodwick G.S., "Computer-aided Diagnosis in Radiology: A Research Plan", Investigative Radiology, 1-1:72-80, 1966.
- [3] Samardziski M., Zafiroski G., Janevska V., Miladinov, D. and Popeska Z., "Computer assisted diagnosis of benign bone tumours", Radiol Oncol, 38(3): 165-9, 2004.
- [4] Espinosa L.A., Jamadar D.A., Jacobson J.A., DeMaeseneer M.O., Ebrahim F.S., Sabb B.J., Kretschmer M.T., Biermann J.S., and Kim S.M., "CT-Guided Biopsy of Bone: A Radiologist's Perspective", American Journal of Roentgenology, 190-5: 283-289, 2008.
- [5] Costelloe C.M., and Madewell J.E., "Radiography in the Initial Diagnosis of Primary Bone Tumors", American Journal of Roentgenology, 200: 3-7, 2013.
- [6] Foo L.F. and Raby N., "Tumours and Tumour-like Lesions in the Foot and Ankle", Clinical Radiology, 60:308-332, 2005.
- [7] Kuru K. ve Tunca Y., "Genetik Faktörlerden Kaynaklanan Dismorfik Hastalıkların Ön Tanısının Etkin Olarak Konulabilmesi İçin Tanısal Karar Destek Sistemlerinin Geliştirilmesi", 8. Ulusal Tıp Bilişimi Kongresi, 17-20 Kasım 2011, Antalya, 6-15.
- [8] Keçeci B. ve Yüçetürk G., "Benign Agresif Kemik ve Yumuşak Doku Tümörlerinde Tanı ve Tedavi Yöntemleri, Türkiye Klinikleri", J Orthop & Traumatol-Special Topics, 5(4):63-72, 2012.
- [9] Gonzalez R.C. and Woods R.E., "Digital Image Processing", Addison-Wesley Publishing Company, New York, 1992.
- [10] Gonzalez R.C., Woods R.E. and Eddins S.L., "Digital Image Processing Using MATLAB" (second edition), Gatesmark Publishing, Knoxville, 2009.
- [11] Canny J.F., "A Computational Approach to Edge Detection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6): 679-698, 1986.
- [12] Beucher S. and Lantuejoul C., "Use of Watersheds in Contour Detection", International Workshop on Image Processing Real- Time Edge and Motion Detection/ Estimation, 17-21 September 1979, Rennes, France.

- [13] Beucher S. and Meyer F., “The Morphological Approach to Segmentation: The Watershed Transformation”, Dougherty E.R., (eds.), Chapter 12: 433-481, *Mathematical Morphology in Image Processing*, New York: Marcel Dekker, New York, 1993.
- [14] Rammelt S. and Zwipp H., “Calcaneal Fractures: Facts, Controversies and Recent Developments”, *Injury*, 35: 443- 61, 2004.
- [15] Sanders R., “Displaced Intra-Articular Fractures of The Calcaneus”, *J Bone Joint Surg Am*, 82A: 225-50, 2000.
- [16] Elhan A., Putz R. and Pabst R., “Sobotta İnsan Anatomisi Atlası”, 22. Almanca Baskıdan Çeviri-Türkçe 6. Baskı, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 2006.
- [17] Ozer D., Turgay Er, T., Aycan O.E., Oke R., Coskun M. and Kabukcuoglu Y.S., “May Bone Cement be used to Treat Benign Aggressive Bone Tumors of the Feet with Confidence?”, *The Foot*, 24: 1–5, 2014.
- [18] Cormack A.M., “Representation of a Function by Its Line Integrals, with Some Radiological Applications”, *J. Applied Physics*, 34(9): 2722-2727, 1963.
- [19] Tape T.G., “Interpreting Diagnostic Tests, The Area under and ROC Curve”, <http://darwin.unmc.edu/dxtests/ROC3.htm>, 17 Mayıs 2015.
- [20] Zou K.H., O’Malley A.J. and Mauri L., “Receiver-Operating Characteristic Analysis for Evaluating Diagnostic Tests and Predictive Models”, *Circulation*, 115: 654-657, 2007.
- [21] Swets J.A., “ROC Analysis Applied to the Evaluation of Medical Imaging Techniques”, *Invest Radiol*, 14: 109–121, 1979.
- [22] Metz C.E.C., “ROC Methodology in Radiologic Imaging”, *Invest Radiol* 21: 720–733, 1986.
- [23] Woods K., Sallam M.Y. and Bowyer K.W., “Evaluating Detection Algorithms”, Strickland R.N., (eds.), In: *Image-Processing Techniques for Tumor Detection*, Chapter 2: 28-54, Marcel Dekker, New York, 2002.