

BT Görüntüleri Üzerinde Akciğer Nodüllerinin Bilgisayar Destekli Otomatik Bölütlenmesi

¹Emre Dandıl, ²Murat Çakıroğlu, ^{*3}Ziya Ekşi, ⁴Özlem Kar Kurt, ⁵Murat Özkan

¹Bilecik Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

^{*3}Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

⁴Tıp Fakültesi, Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Türkiye

⁵Bolu Meslek Yüksekokulu, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Türkiye

Özet:

Akciğer üzerinde oluşan nodüller (tümörler) bazı vakalarda çok küçük, yuvarlak ya da helezonik yapıda olduklarından dolayı teşhis edilmeleri zor olabilmektedir. Bu nedenle, tasarlanacak bir Bilgisayar Destekli Tespit (CAD) sistemi akciğer nodüllerinin erken aşamada teşhisi için önemli bir yöntem olacaktır. Bu sistemin başarısını etkileyecek en önemli basamaklardan birisi bölütlemedir. Bu çalışmada, BT (Bilgisayarlı Tomografi) görüntüleri üzerinde akciğer nodüllerinin bölütlenmesi işlemi başarıyla gerçekleştirilmiştir. SOM (Self-Organizing Maps) sınır ağları modeli ile loblar üzerindeki nodüllerin bölütlenmesi (segmentasyon) yapılarak ilgi bölgeleri (ROI) çıkarılmıştır. Sistemde, 40 hastadan alınan 1128 adet BT görüntüsü başarılı olarak bölütlenmiş ve akciğer nodüllerinin sınıflandırılması için tasarlanacak bir CAD sisteminde SOM yönteminin kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akciğer kanseri, Bölütleme, Bilgisayar Destekli Teşhis (BDT), SOM

An Automatic Computer-Aided Segmentation System for Pulmonary Nodules on CT Scans

¹Emre Dandıl, ²Murat Çakıroğlu, ^{*3}Ziya Ekşi, ⁴Özlem Kar Kurt, ⁵Murat Özkan

¹Bilecik Vocational School, Bilecik Şeyh Edebalı University, Turkey

²Faculty of Technology, Mechatronics Engineering, Sakarya University, Turkey

^{*3}Faculty of Technical Education, Department of Electronics and Computer Education, Sakarya University, Turkey

⁴Faculty of Medicine, Department of Chest Diseases, Abant İzzet Baysal University, Turkey

⁵Bolu Vocational School, Abant İzzet Baysal University, Turkey

Abstract:

The pulmonary nodules (tumors) may be very small, circular and helical structure. So, they may be difficult to diagnose in some cases. The designing of a computer-aided diagnosis (CAD) system would be an important technique for early diagnosis of pulmonary nodules. Segmentation is one of the most important steps which affect the success of a CAD system. In this study, segmentation of the pulmonary nodules has been successfully performed on CT (Computed-Tomography) images. Region of interest (ROI) has extracted by segmenting nodules on the lobes using SOM neural networks model. In this system, 1128 CT images received from 40 patients are successfully segmented. So, the utilization of SOM method in a CAD system which is designed to diagnose pulmonary nodules has been demonstrated.

Key words: Lung cancer, Segmentation, Computer aided diagnosis (CAD), SOM

*Corresponding author: Address: Faculty of Technical Education, Electronics and Computer Education Department, Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: ziyae@sakarya.edu.tr, Phone: +902642956498 Fax: +902642956424

1. Giriş

Günümüzde, en ölümcül kanser türlerinin başında akciğer kanseri gelmektedir [1]. Ameliyat, radyoterapi ve kemoterapi gibi farklı tedavi yöntemleri olmasına rağmen akciğer kanserine yakalanan hastaların ortalama beş yıl için hayatta kalma oranı %14 gibi oldukça düşük bir orandır. Ancak, akciğer kanserinin erken bir aşamada (stage I) tespit edilmesi sağlanabilirse bu oran %49'lara kadar çıkabilmektedir [2].

Akciğer kanserinin teşhisinde X-ışını (X-Ray), BT (Bilgisayarlı Tomografi) [3], Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRI) ve Balgam Sitolojisi [4] gibi görüntüleme teknikleri kullanılmaktadır. BT, akciğer kanserinin teşhisinde kullanılan en önemli görüntüleme tekniğidir [5]. 1 mm kadar çapı olan nodüller ve patolojik kalıntılar BT kullanılarak rahatlıkla görüntülenebilmektedir [6]. Nodüllerden bir kısmı *granuloma* gibi iyi huylu olmakla birlikte bazı durumlarda kireçlenmiş şişkin nodüllerde iyi huylu olarak değerlendirilebilmektedir. Ancak, çoğunlukla katı bir nodül kötü huylu olup *bronkojenik karsinom* gibi akciğer kanseri olmaktadır [7].

Son yıllarda medikal alanda tıbbi tedavi yöntemlerinin yanında hekimin karar verme aşamasında kolaylık sağlayacak, erken bir aşamada hastalığın tespitini yapabilecek CAD sistemleri sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Okumura vd. [8] filtreleme tekniklerinden yararlanarak BT akciğer görüntüleri üzerinde kanser bölgesinin tespitini sağlamışlardır. Hasegawa vd. [9] ise görüntü işleme tekniklerinden yararlanarak BT görüntüleri üzerinde akciğer nodüllerinin tespitine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Shojai vd. [10] ise watershed dönüşümünden yararlanarak akciğer BT görüntülerini otomatik olarak bölütlemişlerdir. Kawata vd. [11] ise BT görüntüleri kullanarak akciğer nodüllerinin sınıflandırılmasını gerçekleştirmişlerdir. Rikxoort ve Ginnekan [12] tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, göğüse ait (thoracic) BT görüntülerinden yararlanılarak akciğer ve loblar otomatik olarak bölütlenmiştir.

Bu çalışmada ise, akciğerde oluşan nodüllerin bölütlenmesini sağlayan bir CAD sistemi önerilmektedir. Sistemin ilk aşamasında görüntüler ön-işleme tekniklerinden yararlanılarak iyileştirilmektedir. İkinci aşamada double eşikleme ile akciğer bölgesi ayrılarak ilgisiz kısımlar görüntüden ayrıştırılmaktadır. Son aşamada ise BT görüntüler üzerinde SOM tekniğinden yararlanılarak akciğer nodüllerinin bölütlenmesi ve başarılı bir şekilde ortaya çıkarılması sağlanmaktadır.

Makalenin geri kalan kısımları şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2'de geliştirilen sistemin işlem basamakları tanıtılmaktadır. Bölüm 3'de deneysel çalışmalar ve bulgular açıklanmaktadır. Bölüm 4'de ise çalışmadan elde edilen sonuçlar sunularak makale sonlandırılmaktadır.

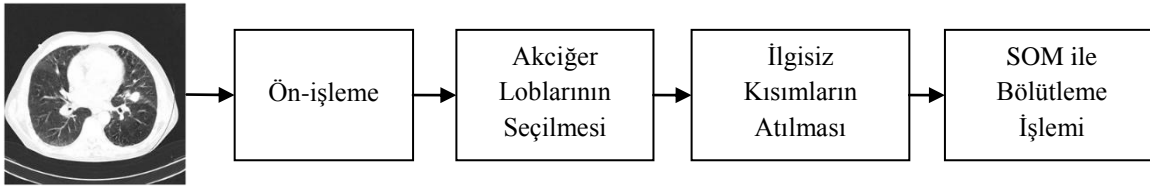
2. Materyal ve Metotlar

2.1. BT görüntü veri seti

Bu çalışmada, farklı 40 hastadan alınan patolojik sonuçlara göre 824 tane kötü huylu ve 304 tane iyi huylu olmak üzere toplamda 1128 tane BT görüntüsü kullanılarak veritabanı oluşturulmuştur. Veritabanı Abant İzzet Baysal Üniversitesi Tıp Fakültesi'nden alınan yaşları 33 ve 79 arasında değişen, 11 tanesi bayan, 29 tanesi ise erkek olan gönüllü hastalardan oluşturulmuştur. Görüntüler, öncelikle DICOM formatı ile alınarak, daha sonra 512x512 çözünürlüğünde 2 boyutlu olarak jpeg (JPG) formatında kaydedilmiştir.

2.2. Tasarlanan CAD sistemi

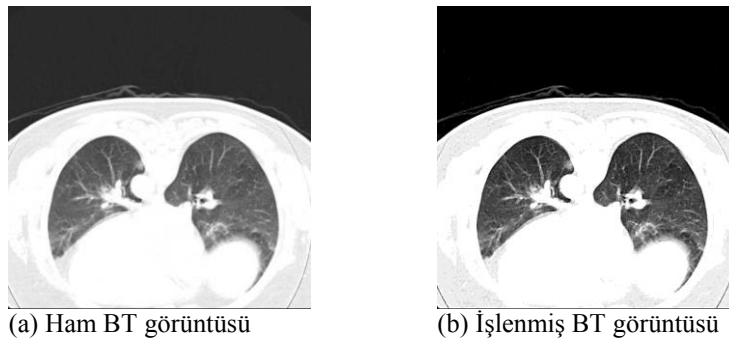
Geliştirilen CAD sistemi dört temel aşamadan oluşmaktadır. Bu sistemin blok mimarisi Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Akciğer nodül tespiti için tasarlanan CAD sisteminin blok mimarisi

2.2.1. Ön-işleme

Bu adımda, görüntü ön-işleme tekniklerinden yararlanılarak BT görüntülerinin kalitesinin artırılması ve ilerleyen aşamalarda ortaya çıkabilecek olan hataların minimize edilmesi amaçlanmıştır. Görüntüleri iyileştirmek için öncelikle 3x3 medyan filtreme işlemi gerçekleştirilmiştir. Görüntü hatlarının daha keskin olması için 3x3 Laplacian filtre uygulandıktan sonra histogram denkleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ham BT görüntüsü ve ön-işleme işlemlerinden sonraki iyileştirilmiş görüntü Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Akciğer BT görüntüleri üzerinde ön-işleme uygulamaları

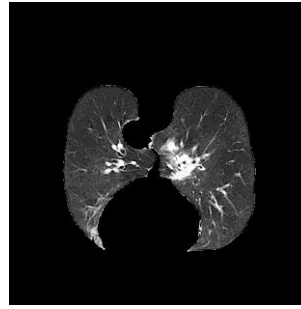
2.2.2. Lobların seçilmesi ve ilgisiz kısımların çıkarılması

Bu aşamada ön-işleme yapılmış BT görüntüleri üzerinde morfolojik işlemler ile akciğer loblarının seçilmesi sağlanmaktadır. Bu işlem sonunda görüntülerde küçük artıklar kalabilmektedir. Görüntülerde ilgisiz kısımların çıkarılması için Eşitlik 1'de verilen değerler esas alınarak double eşikleme (double thresholding) yapılmıştır ve akciğer bölgesinin başarılı olarak elde edilmesi sağlanmıştır. Eşitlik (1)'deki $a(x,y)$, double formatlı gri tonlu bir resmin bir piksel değerini göstermektedir. Bu değerın ikili sayı formatındaki karşılığı $b(x,y)$ ile gösterilmiştir. Görüntülerdeki parlak kısımların değerleri 0.1 ile 0.6 arasında değiştiğinden dolayı bu değerler esas alınarak eşikleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'de akciğer bölgesi çıkarılmış bir BT görüntüsü verilmiştir.

$$b(x,y) = \begin{cases} 1; & 0.1 \leq a(x,y) \leq 0.6 \\ 0; & \text{değilse} \end{cases} \quad (1)$$



(a) İşlenmiş BT görüntüsü

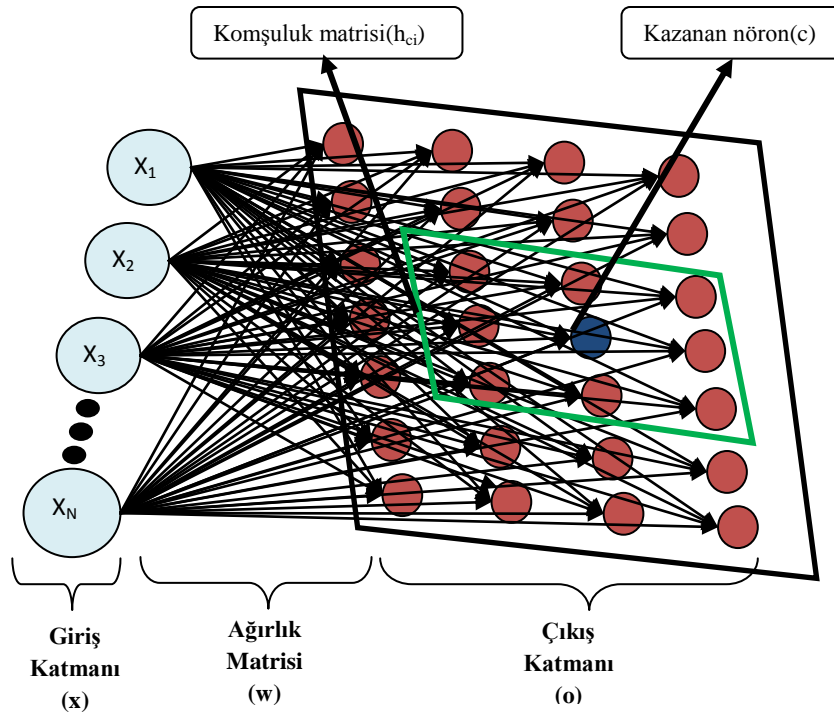


(b) Akciğer bölgesi ayrılmış BT görüntüsü

Şekil 3. BT görüntüsünden akciğer loblarının çıkarılması

2.2.3. SOM ile nodül bölütleme

Gerçekleştirilen sisteminin bu aşamasında akciğer görüntüleri üzerindeki nodüllerin segmentasyonu gerçekleştirilmektedir. Akciğer üzerinde oluşan nodüller oldukça küçük boyutlarda olabilmekte ve birçok farklı bölgede bulunabilmektedir. Bu nedenle kullanılacak olan bölütleme algoritmasının performansı önem arz etmektedir. Literatürde, bölütleme işlemi için FCM, Otsu, Watershed, Region Growing, Graph Cuts gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada, akciğer nodüllerin segmentasyonu için SOM (Self-Organizing Maps) yöntemi kullanılmıştır. SOM, bir danışmansız yapay sinir ağı öğrenme yöntemi olup ilk olarak Kohonen [13] tarafından ortaya konulmuştur. Yüksek boyutlu verileri benzer yapıda ve görsellikte daha düşük boyutta veri haritalarına dönüştürmek için kullanılır. Yapısında yarışmacı öğrenme yapay sinir ağı modeli mevcuttur [14] ve iki temel aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada bir eğitim seti ile ağ oluşturularak yarışmacı öğrenme ile harita inşa edilir. İkinci aşamada ise yeni gelen verinin hangi harita üzerindeki kümeye ait olabileceği hızlı bir şekilde kestirilir [15]. Şekil 4'de iki boyutlu (2D) SOM ağının genel mimarisi görülmektedir. Bu mimaride giriş örüntüsü/katmanı(x), her bir giriş örüntüsüne ağırlık vektörü(w) ve 2 boyutlu harita şeklinde çıkış katmanı(o) bulunmaktadır.



Şekil 4. İki boyutlu SOM ağının mimari yapısı

SOM ağlarının eğitilmesi ağına verilen giriş deseninin kullanılarak en uygun ağırlık vektörünün belirlenmesi işlemidir. Her i giriş deseni, her t iterasyonunda, için $w_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{im})$ şeklinde bir ağırlık vektörü mevcuttur. Her x giriş örneği için bir kazanan nöron (c) vardır ve her kazanan nöron Eşitlik (2)'deki denklem ile hesaplanır. Bu eşitlikte $\|.\|$ Öklit mesafe ölçümünü göstermektedir.

$$\|x - w_c\| = \min_i \|x(t) - c_i(t)\| \quad (2)$$

Kazanan nöron belirlendikten sonra hem c hem de belirlenmiş komşu nöronların ağırlık değerleri aşağıda verilmiş olan Eşitlik (3) ile bulunur.

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \alpha(t) h_{ci}(t) [x(t) - w_i(t)] \quad (3)$$

burada $t+1$ bir sonraki iterasyonu, $\alpha(t)$ öğrenme oranını, h_{ci} kazanan nöronun (c) genel olarak bir Gauss fonksiyonu şeklinde oluşturulan ve Eşitlik (4) ile sunulan komşuluk fonksiyonunu belirtmektedir.

$$h_{ci}(t) = \exp\left(-\frac{\|r_c - r_i\|^2}{2\sigma^2(t)}\right) \quad (4)$$

burada r_i , i biriminin haritadaki pozisyonunu ve r_c kazanan birimin haritadaki pozisyonunu göstermektedir.

SOM ağının çalışma yapısı aşağıdaki adımlar şeklinde uygulanır:

Adım1:Başlangıç ağırlık değerlerinin $[0,1]$ arasında rastgele belirlenmesi ve öğrenme katsayısının ayarlanması

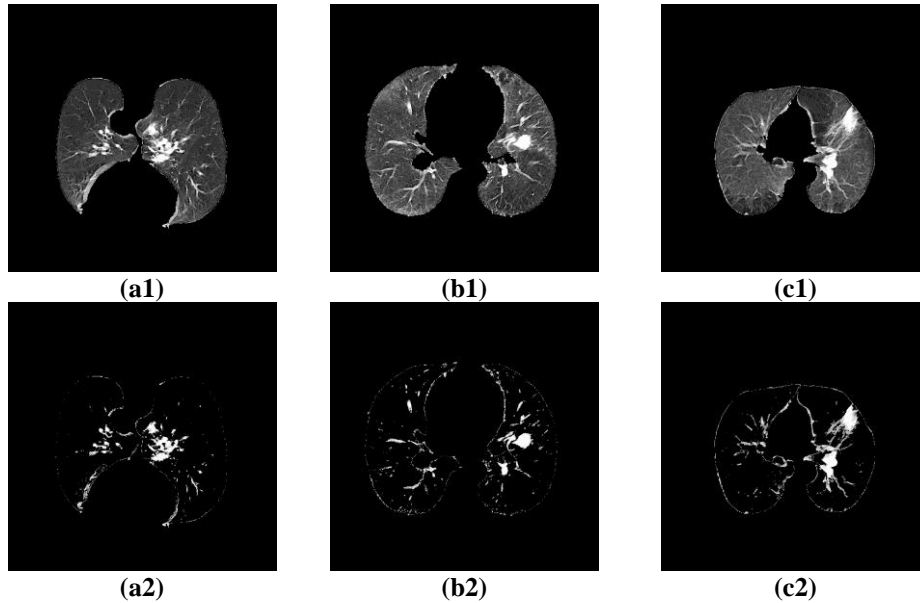
Adım2:Öklit mesafe ölçümüne göre her bir giriş deseni ile ağırlık matrisi arasındaki mesafenin hesaplanması

Adım3:Eşitlik (2)' ye göre kazanan nöronun belirlenmesi

Adım4:Eşitlik (3)'e göre kazanan nöronun ve komşu nöronların ağırlıklarının güncellenmesi

Adım5:Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar Adım2 ve Adım5 arasındaki işlemleri tekrar edilmesi

Bu çalışmada, bölütleme işlemi için SOM yönteminin kullanılma sebebi; SOM'un kompleks yapıda ve büyük olan veri setlerini başarılı bir şekilde organize edebilmesi ve kolay yorumlanabilecek veri haritaları oluşturabilmesidir. SOM yöntemi diğer bölütleme algoritmalarına göre akciğer üzerindeki en küçük nodülleri dahi kolayca bölütleyebilmektedir. Şekil 5'de SOM yöntemi ile bölütlenmiş BT görüntüleri görülmektedir.



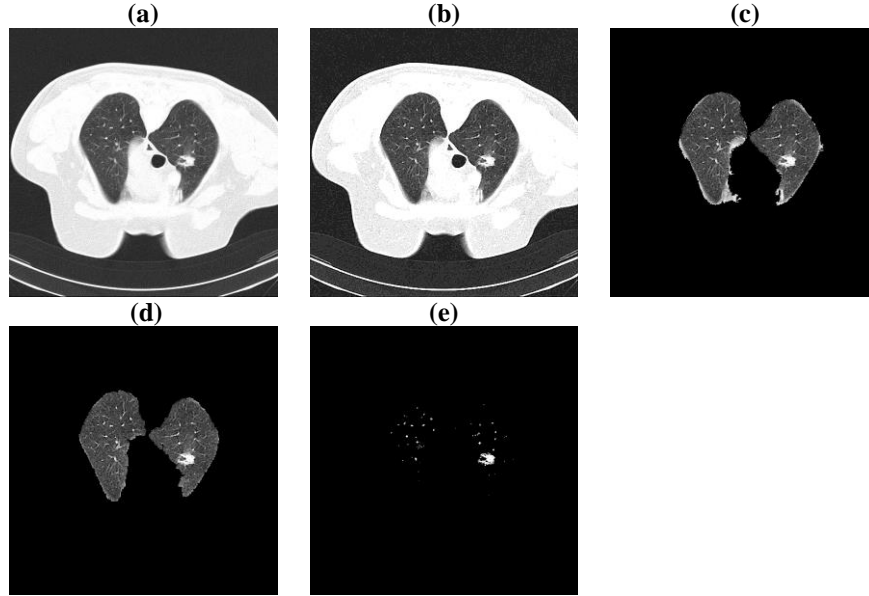
Şekil 5. (a1,b1,c1) Akciğer BT görüntüleri, (a2,b2,c2) SOM yöntemi ile bölütlenmiş akciğer nodül görüntüleri

3. Bulgular

Önerilen CAD sistemindeki tüm uygulamalar MATLAB yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Tüm deneysel çalışmalar 3.4 GHz i7 bir işlemci ve 8 GB belleğe sahip, Windows 7 işletim sistemi ile çalışan bir kişisel bilgisayar üzerinde yapılmıştır.

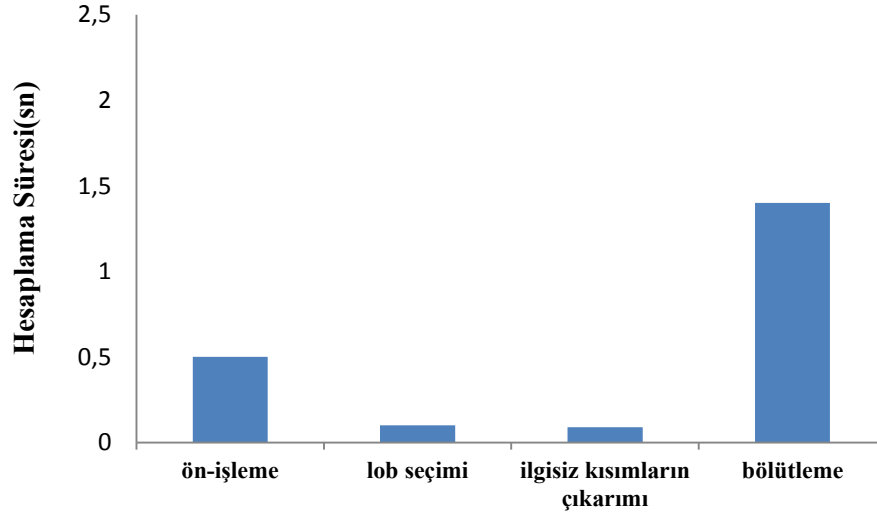
BT görüntüleri üzerinde akciğer nodüllerinin bölütleme süreci ve işlem basamaklarına ait görüntüler Şekil 6'da görülmektedir. Şekil 6a'da orijinal akciğer görüntüsü, Şekil 6b'de ön-

işleme aşamalarından sonraki görüntü, Şekil 6c'de ise akciğer loblarının morfolojik işlemler ile ayrılmış hali görülmektedir. Şekil 6d'de ise 6c'de görülen loblar üzerinde yer alan istenmeyen kenar bölgelerinin double eşikleme yöntemi kullanılarak yok edildiği gösterilmiştir. Şekil 6e'de ise SOM yöntemi ile akciğer nodüllerinin ortaya çıkarılmış hali görülmektedir. Böylece, sınıflandırmada kullanılacak görüntü üzerindeki ilgi bölgesi (ROI) elde edilmiş olur.



Şekil 6. Akciğer nodüllerinin bölütleme aşamaları, (a) orijinal ham işlenmemiş görüntü (b) ön-işleme yapılmış görüntü (c) akciğer bölgesi ayrılmış görüntü (d) kenar artıkları atılmış görüntü (e) akciğer nodülü bölütlenmiş görüntü

Tasarlanan sistemin her bir aşamasında ortalama hesaplama süresi Şekil 7'de verilmiştir. Bu grafiğe göre en uzun hesaplama süresi bölütleme aşamasında olmaktadır. Bunun nedeni bölütleme aşamasında SOM yönteminin kullanılmasıdır. Bu yöntem bir YSA modeli olduğu için uzun matematiksel işlemler mevcuttur. Ortalama 1 ile 2 saniye gibi bir süre içerisinde bir BT görüntüsünün bölütleme işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 7. Ortalama hesaplama süreleri

4. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışmada 40 farklı hastadan alınmış toplamda 1128 BT görüntüleri üzerinde akciğer nodüllerinin bölütlenmesini sağlayan bir CAD sistemi önerilmiştir. Tasarlanan CAD içerisinde ön-işleme, lob seçimi, ilgisiz kısımların çıkarılması ve bölütleme aşamalarından meydana gelmektedir. CAD sistemi içerisinde bulunan SOM yöntemi ile akciğer nodüllerinin tespiti başarılı bir şekilde yapılabilmektedir. İlerleyen çalışmalarda bulunan nodüllerin iyi ya da kötü huylu olarak sınıflandırılması gerçekleştirilebilir. Ayrıca kötü huylu ise hangi aşamada olduğu çeşitli tekniklerle belirlenebilir. Uygulanan sistem diğer kanser türlerindeki görüntülerin bölütlenmesi içinde tercih edilebilir.

Kaynaklar

- [1] American Cancer Society, ACS cancer facts and figures 2002, American Cancer Society, Atlanta, GA; 2003.
- [2] Ries L, et al., SEER Cancer Statistics Review 1973-1996, National Cancer Institution, Bethesda, MD; 1999.
- [3] Aravind S, Ramesh J, Vanathi P, Gunavathi K. Robust and Atomated lung Nodule Diagnosis from CT Images based on fuzzy Systems. In Proceeding in International Conference on Process Automation, Control and Computing (PACC), Tamilnadu, India; 2011.
- [4] Elbaz A, Gimel G, Falk R, Elghar M. A new CAD System for Early Diagnosis of Detected Lung Nodules. ICIP Conference. Louisville, KY, USA; 2007.

- [5] Taher F, Werghi N, Al-Ahmad H, Donner C. Extraction and Segmentation of Sputum Cells for Lung Cancer Early Diagnosis. *Algorithms*. no. 6, pp. 512-531; 2013.
- [6] Dolejsi M. Detection of Pulmonary Nodules from CT Scans. Czech Technical University, Faculty of Electrical Engineering. Center of Machine Perception. Prag; 2007.
- [7] The international early lung cancer action program investigators. Survival of patients with stage I lung cancer detected on CT screening. *N Engl J Med*. no. 355, pp. 1763-1771; 2006.
- [8] Okumura T, Miwa T, Kato J, Yamamoto S, Matsumoto M, Tateno Y, et al. Variable N-Quoit filter applied for automatic detection of lung cancer by X-ray CT. *Proc. CAR'98*. Tokyo, Japan; 1998.
- [9] Hasegawa J, Mori K, Toriwaki J, Anno H, Katada K, Automated extraction of lung cancer lesions from multi-slice chest CT images by using three-dimensional image processing. *Trans. IEICE. Cilt J76-D-II*, no. 8, pp. 1587-1594, 1993.
- [10] Shojaii R, Alirezaie J, Babyn P. Automatic lung segmentation in CT images using watershed transform. *IEEE International Conference on Image Processing*. Vol. 2, pp. 1270-1273; 2005.
- [11] Kawata Y, Niki N, Ohmatsu H, Kakinuma R, Eguchi K, Moriyama N. Quantitative surface characterization of pulmonary nodules based on thin-section CT images. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, Cilt 45, no. 2132-2138; 1998.
- [12] Rikxoort E.M, Ginnekan B. Automatic segmentation of the lungs and lobes from thoracic CT scans. 4. *International Workshop on Pulmonary Image Analysis. Lobe and Lung Analysis (LOLA11 Challenge)*; 2011.
- [13] Kohonen T. *Self-Organizing Maps*. 3rd Edition, Springer; 2001.
- [14] Haykin S. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. New Jersey: 2nd Edition. Upper Saddle River; 1999.
- [15] Chi D. Self-Organizing Map-Based Color Image Segmentation with k-Means Clustering and Saliency Map. *International Scholarly Research Network Signal Processing*. doi:10.5402/2011/393891, pp. 1-18; 2011.