

Sürü Zekası Optimizasyon Algoritmaları Tabanlı Mikroskopik Görüntü Segmentasyonu

Microscopic Image Segmentation Based on Swarm Intelligence Optimization Algorithms

Selen AYAS¹, Hülya DOĞAN¹, Eyüp GEDİKLİ², Murat EKİNCİ¹

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye
{selenguven,hulya,ekinci}@ktu.edu.tr

²Yazılım Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye
{gediklie}@ktu.edu.tr

Özetçe —Dünya Sağlık Örgütü, dünyanın en yaygın enfeksiyon hastalığı olan tüberküloz hastalığının teşhisi için başlıca teşhis tekniği olarak boyalı balgam yayma örneklerinin görsel incelemesini önermektedir. Uzman laboratuvar teknisyenleri tarafından yayma örneklerinin görsel incelenmesi zaman aldığından ve hataya meyilli olduğundan dolayı bilgisayarla görmeye dayalı otomatik tanı yöntemleri ile hastalığın daha doğru teşhis edilmesi sağlanmaktadır. Bu çalışmada tüberküloz bakterilerinin belirlenmesi amacıyla mikroskopik görüntülerin bölütlenmesinde yeni bir yaklaşım olarak entropi bilgisine dayalı sürü zekası optimizasyon algoritmaları kullanılması önerilmektedir. Çalışmada kullanılan mikroskopik görüntüler, arka plan yoğunluğunun düşük ve basillerin yüksek ve düşük yoğunlukta olduğu yayma örneklerinden alınmıştır. Gri seviyeye çevrilmiş mikroskopik görüntülerde uygun tek bir eşik değeri, iki seviyeli entropi tabanlı Parçacık Sürü Optimizasyonu, Ateş Böceği Algoritması, Guduk Kuşu Algoritması ve Çiçek Tozlaşması Algoritması kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen görsel sonuçlar, önerilen sürü zekası optimizasyon algoritmalarının mikroskopik görüntüleri bölütlemeye oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler—*Mycobacterium tuberculosis*; mikroskopik görüntü bölütleme; sürü zekası algoritmaları.

Abstract—The World Health Organization suggests the visual examination of stained sputum smear samples as a preliminary and basic diagnostic technique for diagnosing tuberculosis which is the most common infectious disease in the world. Due to the fact that the visual examination of slide samples performed by expert laboratory technicians requires much time and the process is prone to mistake, an accurate diagnosis of disease is provided with computer aided automatic diagnosis methods. In this study, the usage of swarm intelligence algorithms based on entropy information are proposed for detecting the tuberculosis bacilli as a novel approach in segmentation of microscopic images. The microscopic images used in the study are taken from smear samples in which the background concentration is low and bacilli concentration is low and high. An optimum threshold value in gray-level microscopic image is determined using the bi-level entropy based Particle Swarm Optimization, Firefly Algorithm, Cuckoo Search Optimization and Flower Pollination Algorithm. The acquired visual results show that the proposed swarm intelligence algorithms are quite successful in segmentation of microscopic images.

Keywords—*Mycobacterium tuberculosis*; microscopic image segmentation; swarm intelligence algorithms.

I. GİRİŞ

Dünyadaki önemli sağlık problemlerinden biri olan tüberküloz, *Mycobacterium tuberculosis* basilinin neden olduğu bir enfeksiyon hastalığıdır [1]. Hasta şikayetleri, fiziksel muayene, göğüs röntgeni ve tüberkülin testi, tüberküloz hastalığının şüphelenildiği hastalarda kesin tanı için yeterli olmamaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), tüberküloz hastalığının temel teşhis yöntemi olarak boyalı balgam yayma örneklerinin mikroskopik görsel incelenmesiyle gerçekleştirilen mikrobiyolojik teşhisi önermektedir [2].

Tüberküloz basilleri, 1 – 10 µm uzunluğunda ve 0.2 – 0.6 µm eninde, ince, hafifçe kıvrık, nadiren dallanmış yapıdadırlar [3]. *Mycobacterium tuberculosis* ve benzer mikroorganizmalar, aside dirençli hücre duvarına sahip olduklarından, aside dirençli boyama teknikleriyle boyanırlar. Tüberküloz hastalığının tanısı, uzman laboratuvar teknisyenleri tarafından mikroskop altında boyalı preparatlarda aside dirençli basillerin aranması şeklinde yapılmaktadır. Hastalığın kesin tanısının konulması için her bir preparatta en az 100 alana bakılması ve her bir alanın en az 5 dakika incelenmesi gerekmektedir [2]. Her bir preparat dikkatlice incelenmez ya da çok kısa sürede incelenirse basiller gözden kaçabilir ve gerçekte pozitif olan hastalık teşhisi negatifle sonuçlanabilir. Bu nedenle, manuel inceleme hataya meyillidir. Ayrıca, görsel inceleme süreci, preparatın üzerinde zihinsel konsantrasyonla yoğunlaşma gerektirdiğinden, belirli bir zaman diliminde incelenecek preparat sayısını sınırlandırmakta ve tetkik süreci insan açısından oldukça güç ve usandırıcı olmaktadır [4]. Bu süreç de, yanlış tanı ve teşhislere de neden olmaktadır. Sonuç olarak otomatik görüntüleme, teşhisi hızlandırırken uzman laboratuvar teknisyenlerinin iş gücünü ve hatayı azaltmaktadır [5].

Mikroskopik görüntülerin otomatik analiz edilmesi son yıllarda oldukça önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir. Görüntü analizinde ise başarılı bölütleme işlemi, olası bir hastalığın tanı ve teşhisinde etkin rol oynamaktadır. Literatürde, boyalı preparatların mikroskop altında taranmasıyla elde edilen mikroskopik görüntülerin bölütlenmesinde birçok çalışma mevcuttur. Costa ve ark [6], RGB renk uzayındaki mikroskopik görüntüleri R-G uzayına taşıyarak adaptif eşikleme yöntemiyle bölütlemiştirler. Raof ve ark. [7], [8], çok

seviyeli eşikleme yöntemi kullanarak eşik değerleri, RGB ve HSI renk uzaylarının her bir kanalında deneysel olarak seçmişlerdir. Sadaphal ve ark. [9], Bayes bölütlemesi kullanarak renk tabanlı bölütleme önermişlerdir. Siena ve ark. [10], mikroskobik görüntülere ilintisizleşme esnetmesi uygulamışlardır. Khutlang ve ark. [11], Bayes, Öklid uzaklığı gibi iki sınıflı piksel sınıflandırıcıları kullanmayı önermişlerdir. Mevcut bölütleme yaklaşımları genel bir çözüm sunmayıp daha çok probleme özgü başarılı sonuçlar vermektedir. Ayas ve ark. [12], mikroskobik görüntülerin bölütlenmesinde önerilen yaklaşımlardan farklı olarak eşik değerinin iki seviyeli entropi tabanlı Ateş Böceği Algoritması (ABA) ile belirlendiği bir yaklaşım önermişlerdir. Çalışmalarında önerilen yöntem, Ziehl-Neelsen lekeliendirme tekniği ile boyanmış pozitif yayma örneklerinden yazarların kendi laboratuvar ortamlarında alınan görüntüler üzerinde uygulanmıştır. Sürü zekası optimizasyon algoritmasına dayalı eşikleme yöntemiyle %96'nın üzerinde doğruluk değeri ile mikroskobik imgeler başarılı bir şekilde bölütlenmiştir.

Bu çalışmada, mikroskobik görüntülerin bölütlenmesi amacıyla yeni bir yaklaşım olarak entropi bilgisine dayalı sürü zekası optimizasyon algoritmaları kullanılması önerilmektedir. Uygun tek bir eşik değeri, entropi ölçüsü olarak Kapur'un önerdiği entropi yaklaşımının kullanıldığı iki seviyeli entropi tabanlı Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), ABA, Guguk Kuşu Algoritması (GKA) ve Çiçek Tozlaşması Algoritması (ÇTA) ile belirlenmiştir. Önerilen bölütleme yöntemi, Kinyoun lekeliendirme tekniği ile boyanmış pozitif yayma örneklerinden alınan görüntüleri içeren çevrimiçi bir veritabanı üzerinde uygulanmıştır. Bölütleme sonuçları, veritabanının uzman kişi tarafından bölütlenmiş sonuç görüntülerini içermemesinden dolayı nicel bir analiz yapılamadığından sadece görsel olarak verilmiştir. Ayrıca, sürü zekası optimizasyon algoritmaları, mikroskobik görüntülerin bölütlenmesi için gerekli olan optimum eşik değerine yakınsama süreleri bakımından birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın 2. bölümünde, kullanılan sürü zekası optimizasyon algoritmaları adımlarıyla verilecektir. Amaç fonksiyonu olarak kullanılan entropi ölçüsü, 3. bölümde ayrıntılı şekilde incelenecektir. Önerilen yöntemlerle elde edilen deneysel sonuçlar 4. bölümde incelendikten sonra çalışmanın değerlendirilmesi son bölümde yapılacaktır.

II. SÜRÜ TABANLI OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI

A. Parçacık sürü optimizasyonu

PSO, balık ve kuş gibi sürü halinde hareket eden hayvanların yaşama ve hareket davranışlarına dayalı sezgisel bir optimizasyon yöntemidir [13]. Bu algoritmanın temelini sürüdeki bireyler arası işbirliği oluşturmaktadır. Algoritmada rastgele hareket eden bireyler mevcuttur. Bireyler sürünün en iyi pozisyonuna yaklaşmayı amaçlamaktadırlar. Bu yaklaşıma rastgele başlanmakta ve genelde hedefe ulaşılan kadar bir önceki konum bilgileri kullanılarak güncellenmektedir.

Parçacık sürü optimizasyonunun adımları aşağıdaki gibi verilmektedir:

- 1) Her parçacık için rastgele pozisyon (x_i) ve hız (v_i) değerleri üretilerek başlangıç sürüsü oluşturulur.

- 2) Sürüdeki her parçacığın uygunluk değeri hesaplanır.
- 3) Her parçacık için yerel en iyi pozisyon (p_i) bulunur.

$$p_i(t+1) = \begin{cases} p_i(t) & \text{eğer } f(x_i(t+1)) \geq f(p_i(t)) \\ x_i(t+1) & \text{eğer } f(x_i(t+1)) < f(p_i(t)) \end{cases} \quad (1)$$

- 4) Burada verilen f fonksiyonu uygunluk fonksiyonu ve $x_i(t+1)$ ise i . parçacığın o anki uygunluk değeridir. 3. adımda bulunan parçacıkların sahip olduğu yerel en iyi pozisyonların arasından genel en iyi pozisyon (z_i) belirlenir.

$$z_i(t) \in \{p_1(t), p_2(t), p_3(t), \dots, p_m(t)\} = \min \{f(p_1(t)), f(p_2(t)), f(p_3(t)), \dots, f(p_m(t))\} \quad (2)$$

- 5) Her parçacık için hız ve pozisyonlar, sırasıyla Denklem 3 ve Denklem 4 eşitlikleri kullanılarak güncellenir.

$$v_i(t+1) = wv_i(t) + c_1r_1(p_i(t) - x_i(t)) + c_2r_2(z_i(t) - x_i(t)) \quad (3)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (4)$$

Denklem 3'de w eylemsizlik katsayısını, c_1 ve c_2 ivmelenme katsayılarını, r_1 ve r_2 ise $[0, 1]$ aralığında rasgele üretilmiş değerleri göstermektedir.

- 6) Durdurma kriteri sağlanana kadar önceki adımlar (2, 3, 4, 5) tekrarlanır.

B. Ateş böceği algoritması

ABA, ateş böceklerinin parlaklık, sosyal davranışlar gibi karakteristik özelliklerini temel alan, sürü zekasına dayalı bir optimizasyon yöntemidir [14]. Ateş böceklerinin parlaklık ve çekicilik özelliklerinden yola çıkılarak aşağıda verilen kurallar kullanılarak geliştirilmiştir:

- 1) Tüm ateş böcekleri tek cins olduklarından dolayı herhangi biri diğerlerinden etkilenebilmektedir.
- 2) Çekicilik ateş böceğinin parlaklığıyla ilişkili olup, daha az parlaklığa sahip olan ateş böceği daha fazla parlaklığa sahip olan ateş böceğine doğru hareket etmektedir. Herhangi bir parlaklığı olmayan ateş böceği ise rastgele hareket etmektedir.
- 3) Bir ateş böceğinin parlaklığı amaç fonksiyonu kullanılarak belirlenmektedir.

Bir ateş böceğinin parlaklığı Denklem 5 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$I = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (5)$$

Denklem 5'de; I_0 başlangıç parlaklık değerini, γ ışık soğurma katsayısını ve r ise iki ateş böceği arasındaki uzaklığı göstermektedir. Aralarındaki mesafenin r olduğu ateşböceklerinin arasındaki çekicilik ise Denklem 6 ile hesaplanmaktadır.

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (6)$$

Denklem 6'da; β_0 ise iki ateşböceği arasındaki mesafenin sıfır olduğu durumdaki çekicilik değerini göstermektedir. i .

ateş böceği ile j . ateş böceği arasındaki mesafe ($r_{i,j}$) Denklem 7 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$r_{i,j} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^D (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (7)$$

i . ateş böceği, çekiciliği daha yüksek olan j . ateş böceğinden etkilendiğinde, yeni konumu Denklem 8 kullanılarak belirlenmektedir.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \beta_0 e^{(-\gamma r_{i,j}^2)} (x_j^t - x_i^t) + \alpha_t \epsilon_i^t \quad (8)$$

Denklem 8’de; α_t randomizasyon parametresini ve ϵ_i^t ise gauss dağılımından elde edilmiş rasgele bir sayıyı ifade etmektedir.

C. Guguk kuşu algoritması

GKA, bazı guguk kuşu türlerinin kuluçka parazitliğini temel alan yeni nesil optimizasyon algoritmalarından biridir [15]. Guguk kuşlarının farklı bir üreme stratejileri mevcuttur. Bazı guguk kuşları yumurtalarını diğer kuşların (konak kuş) yuvalarına bırakmaktadır. Konak kuş tarafından yumurta fark edildiğinde ya yumurtalar atılmakta ya da konak kuş yuvayı terk ederek kendine yeni bir yuva belirlemektedir. Guguk kuşu algoritması için üç temel kural belirlenmiştir:

- 1) Her bir guguk kuşu rastgele seçilen bir yuvaya sadece bir yumurta bırakır.
- 2) Yüksek kaliteli yumurtaların olduğu yuvalar sonraki nesile taşınırlar.
- 3) Konak yuvalarının sayısı sabit olup, yuvalara yerleştirilen yumurtalar sahip oldukları olasılıklara ($p_a[0,1]$) göre keşfedilirler.

Yuvalardaki yumurtaların olasılık değerlerine göre konak kuş ya yumurtaları atmakta ya da yuvayı terk etmektedir. Bu algoritmada yuvalardaki her yumurta bir çözümü temsil etmekte ve potansiyeli yüksek olan çözümlerin tutulması amaçlanmaktadır.

Bir guguk kuşunun yeni çözümü (x_i^{t+1}), Denklem 9’de verilen Lévy uçuşu ile gerçekleştirilmektedir.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \alpha \oplus Levy(\lambda) \quad (9)$$

Burada α adım boyutunu temsil etmekte ve problem büyüklüğü ile ilişkilendirilmektedir. Lévy uçuşu ve adım uzunluğu ile gerçekleştirilen rastgele yürüyüş Denklem 10 ile tanımlanan Lévy dağılımına bağlı olarak tahmin edilmektedir.

$$Levy(\lambda) = t^{-\lambda}, 1 < \lambda \leq 3 \quad (10)$$

D. Çiçek tozlaşması algoritması

ÇTA, çiçekli bitkilerin tozlaşma sürecini temel alan bir optimizasyon algoritmasıdır [16]. Polenlerin taşınması ile gerçekleşen çiçek tozlaşması süreci çiçeklerin çoğalmasını sağlamaktadır. Bu taşınma böcek, kuş gibi tozlaştırıcılar tarafından gerçekleştirilmektedir. Tozlaşma iki şekilde meydana gelmektedir. Bunlardan biri herhangi bir tozlaştırıcıya ihtiyaç duyulmadan rüzgâr ya da suyun difüzyonu (abiyotik) ile diğeri ise böcek ve kuşlar gibi canlıların polenleri taşınması (biyotik) ile oluşmaktadır. Tozlaşma çapraz tozlaşma ve kendine tozlaşma olmak üzere iki farklı yolla gerçekleştirilmektedir. Çapraz tozlaşma da farklı bir bitki çiçeğinden polen taşınırken kendine tozlaşma da aynı bitkinin çiçeğinden polen taşınmaktadır.

Tozlaşma sürecinin, çiçek sabiti ve tozlaştırıcı davranışlarının karakteristikleri için belirlenmiş kuralları şu şekildedir:

- 1) Lévy uçuşu ile tozlaştırıcıların polen taşınmasıyla gerçekleştirilen biyotik ve çapraz tozlaşma global tozlaşma süreci olarak kabul edilir.
- 2) Abiyotik ve kendine tozlaşma lokal tozlaşma olarak kullanılır.
- 3) Var olan iki çiçeğin benzerliği çoğalmak için kullanılan çiçek sabiti ile ilişkilidir.
- 4) Lokal ve global tozlaşma $p \in [0,1]$ olasılığı ile kontrol edilir.

Çiçek tozlaşması algoritması global ve lokal tozlaşma olmak üzere iki anahtar adıma sahiptir. Global tozlaşma sürecinde tozlaştırıcılar çiçek polenlerini taşıırken uzun mesafe hareket edebilmektedirler. Bundan dolayı polenler uzun mesafe taşınmakta ve tozlaşmanın garanti olması gerekmektedir. Çiçek sabiti, Denklem 11 kullanılarak temsil edilmektedir.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + L(x_i^t - g_*) \quad (11)$$

Denklem 11’da i . polen ya da t . iterasyondaki çözüm x_i^t ile gösterilmektedir. g_* en iyi güncel sonucu, L ise tozlaşma gücünü temsil etmektedir. Tozlaştırıcılar çeşitli mesafe adımları ile uzun mesafe hareket edebilmektedirler. Bu algoritmada Lévy uçuşu Denklem 12 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$L \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\pi\lambda/2)}{\pi} \frac{1}{S^{1+\lambda}}, (S \gg S_0 > 0) \quad (12)$$

Denklem 12’de $\Gamma(\lambda)$ standart sapma gama fonksiyonunu temsil etmekte ve bu dağılım $s > 0$ için kullanılmaktadır. Lokal tozlaşma sürecinde çiçek sabiti Denklem 13’deki gibi tanımlanmaktadır.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \epsilon (x_j^t - x_k^t) \quad (13)$$

Denklem 13’de aynı bitkide farklı çiçeklerden taşınan polenler x_j^t ve x_k^t ile temsil edilmektedir.

III. ENTROPİ ÖLÇÜSÜ

Literatürde var olan etkili bölütleme yöntemlerinden biri, imgenin gri seviye histogramının olasılıksal dağılımı tabanlı bir yaklaşım olan entropi tabanlı eşiklemedir. Sayısız amaç fonksiyonu bulunmasına rağmen, Kapur'un önerdiği maksimum entropi tabanlı yöntem [17], eşikleme problemini çözmede başarılı sonuçlar üretmektedir. Sınıfları ayıran optimum eşik değeri belirlendiğinde entropi değeri maksimum olmaktadır. Bu nedenle Kapur'un entropi yaklaşımının entropi ölçüsü olarak kullanıldığı bu çalışmada, optimum eşik değerini parametre olarak kullanan bu ölçünün maksimum yapılması amaçlanmaktadır.

Herhangi bir I imgesinin G gri seviyeli olduğu düşünüldüğünde imgedeki her bir i gri seviyesinin olasılığı P_i , Denklem 14'de tanımlanan normalize edilmiş histogram ile ifade edilmektedir.

$$P_i = \frac{h(i)}{\sum_{i=0}^{G-1} h(i)}, \quad i = 0, \dots, G-1 \quad (14)$$

Burada $h(i)$, imgedeki i gri seviyesine sahip piksel sayısını göstermektedir.

Kapur'un entropi ölçüsü, çok seviyeli eşikleme için 15'deki gibi tanımlanmaktadır. Eşik değeri ise sınıfların entropilerinin toplamı maksimum olduğunda optimumdur ve Denklem 16 ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} w_0 &= \sum_{i=0}^{t_1-1} P_i & H_0 &= - \sum_{i=0}^{t_1-1} \frac{P_i}{w_0} \ln \frac{P_i}{w_0} \\ w_1 &= \sum_{i=t_1}^{t_2-1} P_i & H_1 &= - \sum_{i=t_1}^{t_2-1} \frac{P_i}{w_1} \ln \frac{P_i}{w_1} \\ & & & \vdots \\ w_k &= \sum_{i=t_k}^G P_i & H_k &= - \sum_{i=t_k}^G \frac{P_i}{w_k} \ln \frac{P_i}{w_k} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\operatorname{argmax} f([t_1, t_2, \dots, t_k]) = H_0 + H_1 + H_2 + \dots + H_k \quad (16)$$

Bu çalışmada gri seviye görüntülerin iki seviyeli bölütlenmesinin yapılması için sürü zekası algoritmaları aracılığıyla entropi ölçüsünü maksimum yapan tek bir eşik değerinin hesaplanması amaçlanmaktadır.

IV. DENEYSEL SONUÇLAR

İki seviyeli gri seviye imge bölütleme problemi, imgenin $[0, G-1]$ gri seviye aralığında amaç fonksiyonunu maksimum yapan tek bir eşik değerinin bulunması sürecidir. Bu sebeple optimizasyon probleminin boyutu m eşik değer sayısı ve arama uzayı ise $[0, G-1]^m$ olarak verilebilir. Bu çalışmada mikroskobik görüntülerin iki seviyeli bölütlenmesi için entropi ölçüsünü maksimum yapan eşik değeri, sürü zekası optimizasyon algoritmaları kullanılarak belirlenmiştir. Entropi

ölçüsü olarak, Kapur'un önerdiği yaklaşım amaç fonksiyonu olarak incelenmiştir.

Kullanılan sürü zekası optimizasyon algoritmalarının tümünde, her bir aday çözüm, optimize edilmiş m elemanlı eşik değer kümesine karşılık gelmektedir. Bu nedenden dolayı, popülasyona başlangıç değer ataması $[0, G-1]$ aralığında rastgele olarak yapılmaktadır. Popülasyonun çözümü bir amaç fonksiyon değerine karşılık gelmektedir ve algoritmalar optimum eşik değerini algoritma süreçlerine bağlı olarak arama uzayında aramaya başlarlar.

Önerilen gri seviye imge bölütleme yaklaşımının akışı şu şekildedir:

- 1) Popülasyona rastgele eşik değerleri ve ilgili parametrelere başlangıç değerleri atanır.
- 2) Eşik değerlerine göre imge histogramı kullanılarak iki seviyeli sınıf entropileri hesaplanır.
- 3) Sürü zekası optimizasyon algoritmaları ve amaç fonksiyonu kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilir.
- 4) İterasyon sayısına ulaşılan kadar algoritmaların ilgili parametreleri güncellenerek entropinin maksimize edilmesi sağlanır.
- 5) Elde edilen optimum eşik değerine göre imge bölütlenir.

Sürü tabanlı optimizasyon algoritmalarının, mikroskobik görüntülerin iki seviyeli eşiklenmesindeki performansını gözlemlemek için çevrimiçi bir veritabanı kullanılmıştır [18]. Veritabanı, Kinyoun aside dayanıklı lekeliendirme ve metilen mavisi solüsyonu karşıt boyası ile boyanan pozitif yayma örneklerinin, Zeiss Axioskop 4 geleneksel mikroskobunun altında taranarak, mikroskobun okülerine takılan Canon PowerShot A640 10 megapiksel dijital kamera ile görüntülerinin alınmasıyla elde edilmiştir. Görüntüler 24 bit derinliğe sahip jpeg formatında, 2816x2112 piksel çözünürlüğünde kaydedilmiştir. Veritabanındaki arka plan yoğunluğu düşük gruptaki 60 görüntüden, basillerin yüksek ve düşük yoğunlukta olduğu Şekil 1.'de 1. ve 3. kolonda verilen 8 görüntü seçilmiştir. Her bir görüntü kendine özgü gri seviye histograma sahiptir. Görüntülerde mavi zemin üzerinde pembe çubuk şeklinde görünen yapılar hastalığa etken basilleri göstermektedir.

Sürü tabanlı optimizasyon algoritmalarının başlangıç popülasyonları rastgele olarak $[0, G-1]$ aralığında seçilmiştir. Popülasyon boyutu, tüm algoritmalar için 10 olarak verilmiş ve tüm algoritmalar 100 iterasyonda sonlandırılmıştır. Kullanılan sürü zekası optimizasyon algoritmalarının diğer kontrol parametreleri, literatürde algoritmayı ortaya çıkaran kişilerin önerdiği Tablo I.'de verilen başlangıç değerleri olarak seçilmiştir.

Çalışma Intel Core i7-4500U CPU, 4GB ram, 64-bitlik Windows işletim sistemi üzerinde MATLAB yazılımı kullanarak gerçekleştirilmiştir. Tablo II., her bir test imgesi için optimum eşik değerlerini, amaç fonksiyon değerlerini ve ABA, PSO, GKA ve ÇTA algoritmalarının yakınsama sürelerini göstermektedir. Sürü tabanlı algoritmalar rasgele

Tablo I: Sürü zekası optimizasyon algoritmalarının başlangıç parametreleri

Algoritmalar	Parametreler	Değerler
ABA	Rastgeleleştirme katsayısı (α)	0,5
	Emme katsayısı (γ)	1
	Başlangıç çekiciliği (β)	0,1
PSO	İvmelenme katsayıları (C_1, C_2)	2,2
	Eylemsizlik katsayısı (w)	0,9'dan 0,4'e doğrusal biçimde azalan sayılar
	r_1, r_2	Rastgele sayılar
GKA	Keşfedilme oranı (p_a)	0,25
	Ölçek faktörü (β)	1,5
	Adım büyüklüğü (α)	0,01
ÇTA	Değişme olasılığı (p)	0,8
	Ölçek faktörü (β)	1,5
	Adım büyüklüğü (α)	0,01

başlangıç çözümleri ve parametre değerleri içerdiğinden deneyler her bir imge ve algoritma için 5 kez tekrarlanmıştır. Yakınsama süreleri, 5 tekrarın yakınsama sürelerinin ortalamasıyla hesaplanmış ve her bir tekrar optimum eşik değeri elde edilince sonlandırılmıştır. Burada tekrar sayısının 5 seçilmesinin nedeni amaç fonksiyon değerinin bu tekrardan sonra yaklaşık olarak aynı çıkmasından dolayı hesaplama karmaşıklığının artmasının önüne geçilmesidir.

Şekil 1., test imgelerinin iki seviyeli eşikleme sonuçlarını göstermektedir. Görsel sonuçların öznel değerlendirilmesi yapıldığında, basillerin arka plan çeşitliliğinin daha az olduğu imgelerde arka plan çeşitliliğinin fazla olduğu imgelere nazaran daha iyi bölütlendiği görülmektedir. Preparatların boyanması prosedürünün yanlış yapılmasından kaynaklı arka plan çeşitliliği fazla olan görüntülerde yanlış bölgeler basil olarak işaretlenmiş olsa da hastalığın teşhisinde önemli olan hastalığa etken basillerin yüksek doğrulukla tanınmış olmasıdır. Bölütleme sonuçlarına genel olarak bakıldığında sürü zekası optimizasyon algoritmalarının mikroskobik görüntüleri bölütlemeye oldukça başarılı olduğu ve otomatik tanı sistemleri için sınıflandırma öncesi bölütlemeye etkin bir şekilde kullanılabileceği görülmektedir.

Sürü zekası optimizasyon algoritmalarının sayısal sonuçları Tablo II.'den incelendiğinde, mikroskobik görüntülerin iki seviyeli eşiklenmesi için tek bir eşik değeri kullanıldığından ve sürü zekası optimizasyon algoritmaları için iterasyon sayısı yüksek tutulduğundan dolayı tüm algoritmalar optimum eşik değerine yakınsamaktadır. Bu nedenle, algoritmaların birbirleriyle kıyaslanması aşamasında, optimum eşik değerine yakınsama süreleri incelenmiştir. Diğer algoritmalarla kıyaslandığında PSO, en kısa sürede optimum eşik değerine yakınsamaktadır.

V. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada tüberküloz hastalığının teşhis edilmesi amacıyla mikroskobik görüntülerin bölütlenmesinde entropi bilgisine dayalı sürü zekası optimizasyon algoritmaları kullanılması önerilmektedir. Bu amaçla, gri seviyeye çevrilmiş mikroskobik görüntülerde uygun tek bir eşik değeri, iki seviyeli entropi tabanlı Parçacık Sürü Optimizasyonu, Ateş Böceği Algoritması, Guguk Kuşu Algoritması ve Çiçek Tozlaşması Algoritması kullanılarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonu olarak Kapur'un entropi yaklaşımı kullanılmış ve entropi ölçüsünün maksimum yapılması amaçlanmıştır. Sürü

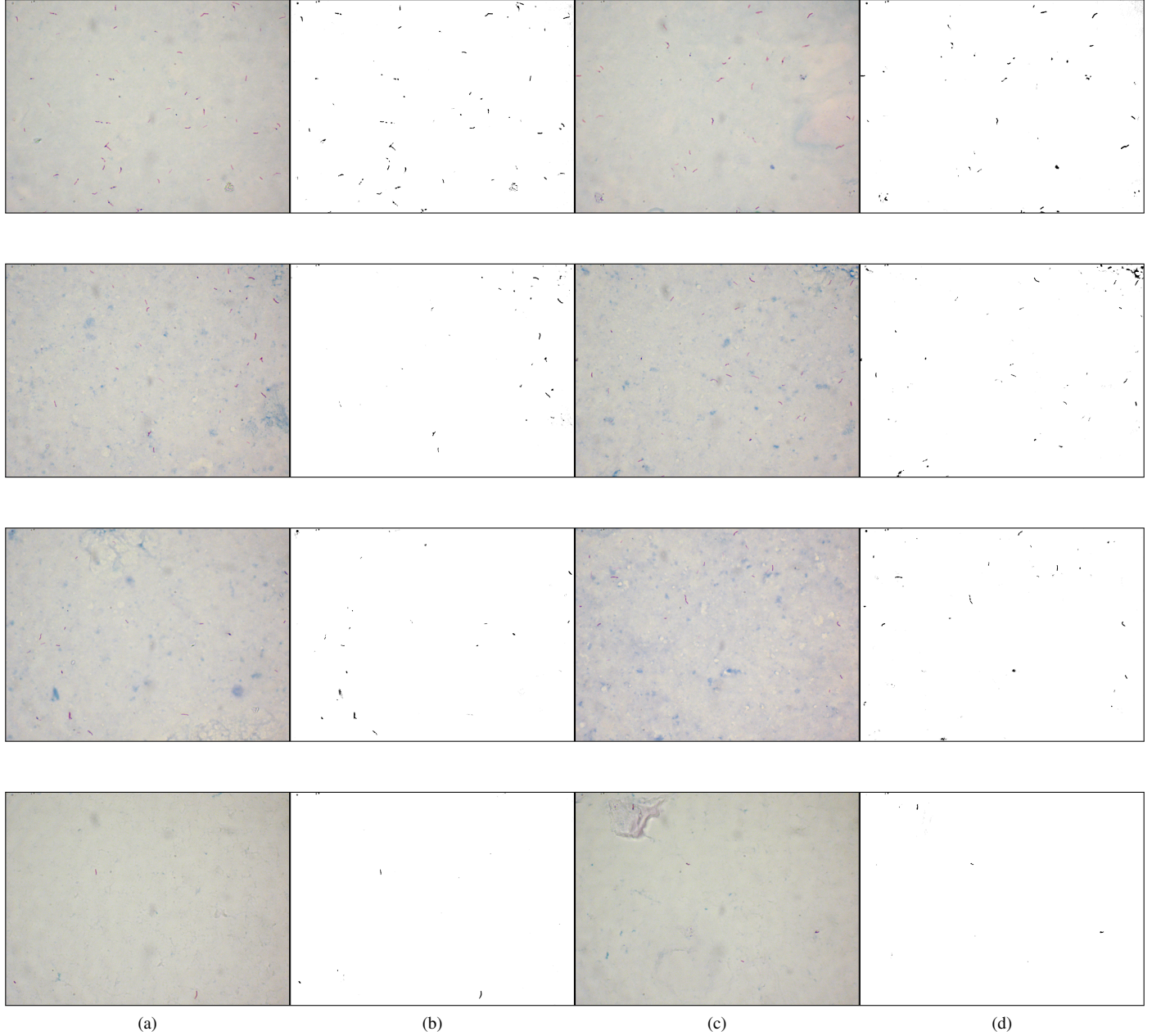
tabanlı optimizasyon algoritmalarının, mikroskobik görüntülerin iki seviyeli eşiklenmesindeki performansını gözlemlemek için 8 farklı balgam yayma örneği kullanılmıştır. Sayısal sonuçlar, PSO algoritmasının daha kısa sürede optimum eşik değerine yakınsadığını ortaya çıkarmaktadır. Görsel sonuçlar değerlendirildiğinde, sürü zekası optimizasyon algoritmalarının mikroskobik görüntüleri bölütlemeye alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

- [1] World Health Organization. 2015. Global tuberculosis report 2015. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/191102/1/9789241565059_eng.pdf (Erişim Tarihi: Aralık 2016).
- [2] Central TB Division. 2005. Module for laboratory technicians. <https://nrhm.gujarat.gov.in/images/pdf/module-for-laboratory-technician.pdf> (Erişim Tarihi: Aralık 2016).
- [3] J. C. Palomino, S. C. Leao, V. Ritacco, "Tuberculosis 2007—From basic science to patient care," <http://www.tuberculosis-textbook.com/index.htm> (Erişim Tarihi: Aralık 2016).
- [4] T. N. Nguyen, C. D. Wells, N. J. Binkin, D. L. Pham, V. C. Nguyen, "The Importance of Quality Control of Sputum Smear Microscopy: The Effect of Reading Errors on Treatment Decisions and Outcomes," *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 3(6), 483-487, 1999.
- [5] M. G. Forero, F. Sroubek, G. Cristobal, "Identification of Tuberculosis Bacteria Based on Shape and Color," *Real-time Imaging*, 10(4), 251-262, 2004.
- [6] M. G. Costa, C. F. Costa Filho, J. F. Sena, J. Salem, M. O. de Lima, "Automatic Identification of Mycobacterium Tuberculosis with Conventional Light Microscopy," *30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 21-24 Ağustos, Vancouver/Kanada, 2008.
- [7] R. A. A. Raof, Z. Salleh, S. I. Sahidan, M. Y. Mashor, S. M. Noor, F. M. Idris, H. Hasan, "Color Thresholding Method for Image Segmentation Algorithm of Ziehl-Neelsen Sputum Slide Images," *5th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control*, 12-14 Kasım, Mexico City/Meksika, 2008.
- [8] R. A. A. Raof, M. Y. Mashor, R. B. Ahmad, S. S. M. Noor, M. K. Osman, "Comparison of Colour Thresholding Method using RGB and HSI Information for Ziehl-Neelsen Sputum Slide Images," *10th International Conference on Information Sciences Signal Processing and their Applications*, 10-13 Mayıs, Kuala Lumpur/Malezya, 2010.
- [9] P. Sadaphal, J. Rao, G. W. Comstock, M. F. Beg, "Image Processing Techniques for Identifying Mycobacterium Tuberculosis in Ziehl-Neelsen Stains," *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 12(5), 2008.
- [10] I. Siena, K. Adi, R. Gernowo, N. Mirnasari, "Development of Algorithm Tuberculosis Bacteria Identification using Color Segmentation and Neural Networks," *International Journal of Video and Image Processing and Network Security*, 12(4), 9-13, 2012.
- [11] R. Khutlang, S. Krishnan, R. Dendere, A. Whitelaw, K. Veropoulos, G. Learmonth, T.S. Douglas, "Classification of Mycobacterium Tubercu-

Tablo II: Sürü zekası optimizasyon algoritmalarının optimum eşik değerleri, amaç fonksiyon değerleri ve yakınsama süreleri (sn)

İmge	Optimum eşik değeri	Amaç fonksiyon değeri	Yakınsama süresi (sn)			
			ABA	PSO	GKA	ÇTA
İmge 1	160	7,6272	0,009022	0,0055642	0,0175802	0,0093082
İmge 2	160	7,4463	0,0139894	0,0053292	0,0202738	0,0093062
İmge 3	138	7,513	0,006629	0,0040304	0,0214583	0,0097524
İmge 4	147	7,4142	0,0079756	0,0050648	0,0195329	0,0103632
İmge 5	142	7,4722	0,0117592	0,0054224	0,0205087	0,0117204
İmge 6	153	7,4257	0,0127542	0,0055644	0,0210319	0,0127832
İmge 7	150	7,4513	0,0128304	0,0051324	0,0202863	0,0135136
İmge 8	130	7,5717	0,0121402	0,0049430	0,0213586	0,010831



Şekil 1: Test imgeleri ve ilgili bölütlenmiş sonuçlar: (a, c) numune örnekleri, (b, d) bölütlenmiş sonuç imge görüntüleri

losis in Images of ZN-Stained Sputum Smears," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(4), 949-957, 2010.

[12] S. Ayas, H. Doğan, E. Gedikli, M. Ekinci, "Tüberküloz Bakterilerinin Tespiti Amacıyla Ateşböceği Algoritmasına Dayalı Mikroskopik İmgelerin Bölütlenmesi," *23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları*

Kurultayı, 16-19 Mayıs, Malatya/Türkiye, 2015.

- [13] R. C. Eberhart, J. Kennedy, "A New Optimizer using Particle Swarm Theory," *6th International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 4-6 Ekim, Nagoya/Japonya, 1995.
- [14] X. S. Yang, "Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms. 2nd edition," Luniver Press, 2010.
- [15] X. S. Yang, S. Deb, "Cuckoo Search via Lévy flights," *World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing*, 9-11 Aralık, Coimbatore/Hindistan, 2009.
- [16] X. S. Yang, "Flower Pollination Algorithm for Global Optimization," *International Conference on Unconventional Computing and Natural Computation*, 3-7 Eylül, Fransa, 2012.
- [17] J. N. Kapur, P. K. Sahoo, A. K. C. Wong, "A New Method for Gray-Level Picture Thresholding using The Entropy of The Histogram," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 29(3), 273-285, 1985.
- [18] C. F. Costa Filho, P. C. Levy, C. M. Xavier, M. G. Costa, L. B. Fujimoto, J. Salem, "Mycobacterium Tuberculosis Recognition with Conventional Microscopy," *34th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 28 Ağustos-1 Eylül, San Diego/Amerika, 2012.