



Sitopatolojik Değerlendirme Süreçleri için Optimum Otomatik Odaklama Fonksiyonun Belirlenmesi Determination of Optimum Auto Focusing Function for Cytopathological Assessment Processes

Hülya Doğan¹, Elif Baykal¹, Murat Ekinci¹, Mustafa Emre Ercin², Şafak Ersöz²

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

²Tıbbi Patoloji Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye
{drmustafaemreercin, sersoz}@ktu.edu.tr

Özetçe —Patoloji uzmanları sitopatolojik değerlendirme süreçlerinde hücre analizi yaparken ilk olarak mikroskop tablasını Z ekseninde hareket ettirerek optimum odaklanmış bölgeyi bulmaktadırlar. Odaklama sürecinin otomatikleştirilmesi mikroskopik sistemlerde kişiye bağımlılığı azaltarak daha kaliteli ve etkin bir görüntüleme yapmayı sağlamaktadır. Literatürde optimum otomatik odaklama fonksiyonunun belirlenmesi için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada literatürde araştırılan alanlar dışında olan sitopatolojik değerlendirme süreçleri için optimum odaklama fonksiyonunun belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada optimum odaklama fonksiyonu bulmak için 12 farklı odaklama fonksiyonu 5 farklı değerlendirme kriteri (koşma süresi, doğruluk, yerel maksimum nokta sayısı, range, görüntü seviyesi) altında test edilmiştir. Test işlemleri için farklı objektifler (10x – 20x – 40x) kullanılarak her birinden 4 adet olmak üzere toplam 12 farklı imge serisi oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre sitopatolojik değerlendirme süreçleri için optimum otomatik odaklama fonksiyonunun Varyans olduğuna karar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler—mikroskopik görüntüleme, otomatik odaklama, odaklama fonksiyonları, sitopatolojik değerlendirme.

Abstract—When pathologists analyze the cytopathological assessment process, they firstly find the optimum focused region by moving the microscope table along the Z axis. Auto-focusing provides a better and more effective imaging by reducing the personality dependence on the microscope system. Various studies have been carried out in the literature to determine the optimum auto-focus function. The aim of the study is to determine the optimum function for cytopathological assessment processes outside the areas investigated in the literature. In order to find the optimum focus function in the study, 12 different focus functions were tested under 5 different evaluation criteria (execution time, accuracy, number of local maximum points, range, noise level). A total of 12 different image series were created for each of the test operations using different magnification objectives (10x - 20x - 40x). According to the results obtained, it is decided that the optimum auto-focusing function for the cytopathology assessment processes is Variance.

Keywords—microscopic imaging, autofocusing, focus functions, cytopathological assessment.

I. GİRİŞ

Sitopatolojik değerlendirme süreçlerinde hücre analizi için öncelikli işlem otomatik odaklamanın gerçekleştirilmesidir. Otomatik odaklama mikroskop tablasının Z ekseninde hareketiyle elde edilen aynı görüş alanına sahip, farklı netlikteki görüntülerden oluşan imge dizisi üzerinde gerçekleştirilmektedir. Elde edilen bu imge dizisinden odaklanmış görüntü bulunmaktadır. Bu süreçte her görüntünün odaklama bilgisi çıkarılmakta ve maksimum odaklama bilgisine sahip olan görüntü odaklanmış olarak kabul edilmektedir. Görüntülerin odaklama bilgisinin çıkarılması için odaklama fonksiyonları kullanılmaktadır. Literatürde odaklama fonksiyonları aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar [1]. Aktif fonksiyonların kullanıldığı otomatik odaklama sistemlerinde mesafe ölçen ek bir malzeme bulunmakta ve sistem oldukça pahalı olmaktadır. Bu sistemlerde obje ile merceğe arasındaki mesafeyi ölçmek için ultrason ya da kızıl ötesi dalgalar kullanılmakta ve görüntü alınırken sistem gerçek zamanlı çalışmaktadır. Görüntü işleme tabanlı olan pasif odaklama fonksiyonları ise herhangi bir ek malzeme gerektirmemekte ve kurulan sistemi oldukça basitleştirmektedir. Sistem görüntülerin alındıktan sonra analiz edilmesiyle çalışmaktadır [2-3].

Literatürde birçok araştırmacı otomatik odaklama üzerine çalışmış ve görüntülerin odaklama bilgilerini çıkarmak için birçok metod önerilmiştir. Odaklama fonksiyonlarının çok çeşitli olması, kullanılan alana göre farklı sonuçlar vermesi araştırmacıların alanlarında en iyi fonksiyonu belirlemeye yönelik çalışmalar yapmasına neden olmuştur. Santos çalışmasında flüoresan mikroskoptan elde ettiği görüntüleri kullanarak 13 farklı algoritmayı karşılaştırmış ve en iyi sonucu Autocorrelation ile elde etmiştir [1]. Sun ve arkadaşları ise farklı metodları (brightfield, phase contrast, differential interference contrast) kullanılarak elde edilmiş örnekler üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada 2 farklı büyütme objektifi (100x ve 400x) ve 18 farklı odaklama fonksiyonu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Normalized Variance fonksiyonunun en iyi sonuç verdiği görülmüştür [4]. Xie ve arkadaşları çalışmalarında odaklama fonksiyonu olarak Dalgacık dönüşümünü önermişler ve elde ettikleri sonuçları Normalized Variance, Entropy ve Energy Laplace fonksiyonları ile karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmada imge serileri ışıklı mikroskop ve farklı



Tıbbi Görüntüleme Sistemleri

12 Ekim 2017 - 17.15-18.45 - Salon C

büyütme objektifleri (5x, 25x, 50x, 100x ve 200x) kullanılarak elde edilmiştir [5]. Saini çalışmasında tüberküloz görüntülerini kullanarak en optimum odaklama fonksiyonunu belirlemiştir. Bu çalışmada fluorans ve ışıklı mikroskop kullanılarak elde edilen görüntüler üzerinde 20 farklı odaklama fonksiyonu kullanılmış ve Gaussian Derivative fonksiyonunun en iyi sonuç verdiği görülmüştür [3]. Xia ise çalışmasında hat tarama kamerası kullanmış ve en iyi odaklama fonksiyonunun seçiminde kullanılan kameranın da etkili olduğunu ispatlamıştır. Bu çalışmada 16 farklı odaklama fonksiyonu kullanılmış ve Tenengrad fonksiyonunun en iyi sonuç verdiği görülmüştür [6].

Yapılan çalışmada literatürde kullanılan alanlar dışında olan ışıklı mikroskop altında sitopatolojik değerlendirme süreçleri için optimum odaklama fonksiyonunun belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada üç farklı objektif (10x, 20x ve 40x) ile elde edilmiş farklı sayıda imge serileri ve 12 farklı odaklanma fonksiyonu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar 5 farklı karşılaştırma metriği kullanılarak test edilmiştir.

II. OTOMATİK ODAKLAMA

Otomatik odaklama süreçlerinde gerçekleştirilen işlem adımları şu şekildedir: 1) Mikroskop tablası Z ekseninde hareket ettirilerek aynı görüş alanına sahip, farklı netlikteki görüntülerden oluşan imge dizisi elde edilir. 2) Odaklama fonksiyonu kullanılarak imge dizisindeki her görüntünün odaklama bilgisi çıkarılır. 3) Görüntülerin odaklama fonksiyon sonuçları kullanılarak olasılık yoğunluk fonksiyonu oluşturulur. 4) Olasılık yoğunluk fonksiyonundaki en yüksek sonuca sahip görüntü belirlenir ve odaklanmış görüntü olarak kabul edilir [7]. Çalışmanın otomatik odaklama sürecinde kullanılan odaklama fonksiyonları ve grupları şu şekildedir: 1) Gradyan Tabanlı Fonksiyonlar: Eşikli Gradyan (Thresholded Gradient) Fonksiyonu, Tenengrad Fonksiyonu ve Karesel Gradyan (Squared Gradient) Fonksiyonu. 2) Laplace Tabanlı Fonksiyonlar: Laplace Enerji (Energy of Laplacian) Fonksiyonu ve Değiştirilmiş Laplacian (Modified Laplacian) Fonksiyonu. 3) Dalgacık Tabanlı Fonksiyonlar: Dalgacık Katsayıları Toplamı (Sum of Wavelet) Fonksiyonu ve Dalgacık Katsayıları Varyansı (Variance of Wavelet) Fonksiyonu. 4) İstatistiksel Fonksiyonlar: Varyans (Variance), Normalleştirilmiş Varyans (Normalized Variance) ve Histogram Entropi (Histogram Entropy) Fonksiyonu. 5) Ayrık Kosinüs Dönüşümü Tabanlı Fonksiyonlar: 6) Diğer Fonksiyonlar: Autocorrelation.

III. DENEYSEL SONUÇLAR

Çalışmada mikroskopik sistemlerde sitopatolojik değerlendirme süreçleri için optimum odaklama fonksiyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen numuneler üzerinde test işlemleri gerçekleştirmek için motorize mikroskop sistemi Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilgisayarla Görme Laboratuvarında [8] kurulmuştur. Kurulan sistem standart PC, mikroskop, dijital kamera, mikroskop hareketlerinin bilgisayara ile kontrolü için 3 adım motoru ve kontrol devresinden oluşmaktadır.

A. Veritabanı

Çalışmada kullanılan veri tabanı plevral efüzyon sıvısı sitopatolojik incelenmesi amacıyla Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Patoloji Anabilim Dalında hazırlanmış

numuneler kullanılarak elde edilmiştir. Tek hastadan alınan numune örneği Nikon Eclipse 80i ışıklı mikroskobu ile 3 farklı büyütme objektifi (10x – 20x – 40x) ile taranmıştır. Her büyütme objektifinden alınan 4 farklı imge dizisi 24 bit derinliğe sahip bitmap dosyası formatında, 768x576 piksel çözünürlüğünde kaydedilmiştir. İmge dizilerini elde etmek için adım motoru mikroskobun Z yönünde 40x büyütme objektifi için 0.0625, 20x ve 10x büyütme objektifi için ise 0.125 mikrometre aralıklarla hareket ettirilmiştir. Elde edilen imge dizileri 40x büyütme objektifi için 480, 20x büyütme objektifi için 500 ve 10x büyütme objektifi için ise 550 görüntüden oluşmaktadır.

B. Değerlendirme Kriterleri

Optimum odaklama fonksiyonunun belirlenmesi için çalışmada kullanılan değerlendirme kriterleri:

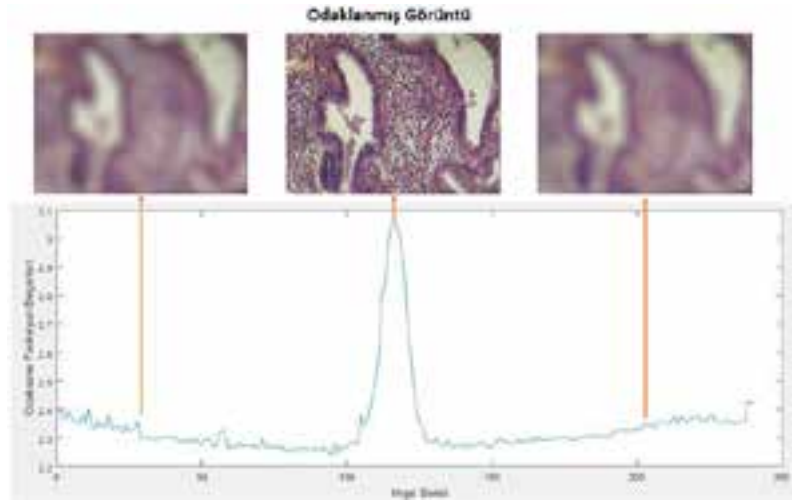
- Koşma Süresi: Elde edilen imge serisindeki görüntülerin odaklama bilgilerinin çıkarılma süresidir.
- Doğruluk: Uzman kişinin manual olarak elle belirlediği referans görüntü indisi ile maksimum odaklama bilgisine sahip görüntü indisi arasındaki uzaklık.
- Yerel Maksimum Nokta Sayısı: Odaklama fonksiyon değerleri ile elde edilen olasılık yoğunluk fonksiyonundaki yerel maksimum nokta sayısı.
- Range: Odaklama fonksiyon değerleri ile elde edilen olasılık yoğunluk fonksiyonundaki genel maksimum noktasının sağ ve solundaki iki yerel maksimum nokta arasındaki mesafe.
- Gürültü Seviyesi: Gauss gürültüsü eklenmiş imge dizisinin odaklanmış görüntü indisi ile orijinal imge dizisinin odaklanmış görüntü indisi arasındaki mesafe.

Optimum odaklama fonksiyonunun belirlenmesi için 2. bölümde anlatılan otomatik odaklama işlem adımları her test dizisi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de de görüldüğü gibi mikroskop tablası herhangi bir referans noktasında başlatılarak belirli aralıklarla hareket ettirilmiş ve imge serisi oluşturulmuştur. Oluşturulan imge serisindeki her görüntünün odaklama bilgileri elde edilmiştir. İşlemler sonucunda maksimum odaklama fonksiyon değerine sahip olan görüntü en odaklanmış görüntü olarak kabul edilmiştir.

Tablo 1'de farklı büyütme objektiflerinde optimum odaklanmış görüntüyü veren odaklama fonksiyonu için değerlendirme kriterlerinin ideal değerleri gösterilmiştir. İdeal bir odaklama fonksiyonunun koşma süresi her büyütme objektifi için minimum olması beklenmektedir. İdeal bir odaklama fonksiyonu kullanılarak hesaplanan en odaklanmış görüntü ile uzman kişinin belirlediği referans görüntünün aynı olması düşünülmektedir. Bu durumda optimum bir odaklama fonksiyonunun doğruluğu 0 olmalıdır. Aynı şekilde ideal bir odaklama fonksiyonu ile elde edilen olasılık yoğunluk fonksiyonundaki yerel maksimum nokta sayısı sıfıra yakın olmalıdır. Genel maksimum noktada olan odaklanmış görüntü indisinin sağ ve solundaki iki yerel maksimum nokta arasındaki mesafenin imge dizisindeki görüntü sayısı kadar olması beklenmektedir. Çalışmada imge dizilerine ayrı ayrı farklı standart sapmalarla (0.001 - 0.003 - 0.005) gürültü eklenerek yeni diziler oluşturulmuş ve orjinaleri ile karşılaştırılmıştır. Bir odaklama fonksiyonu için gauss gürültüsü eklenmiş imge dizisinin odaklanmış

Tıbbi Görüntüleme Sistemleri

12 Ekim 2017 - 17.15-18.45 - Salon C



Şekil 1: Otomatik Odaklama Süreci

Tablo I: Karşılaştırma Kriterleri için Beklenen Değerler

Büyütme Objektifi	Koşma Süresi	Doğruluk	Yerel Maksimum Nokta Sayısı	Range	Gürültü Seviyesi (s=0.01)	Gürültü Seviyesi (ss=0.03)	Gürültü Seviyesi (ss=0.05)
10x	minimum	0	0	550	0	0	0
20x	minimum	0	0	500	0	0	0
40x	minimum	0	0	480	0	0	0

Tablo II: 10x Büyütme Objektifi ile Taranarak Elde Edilen Görüntü Serileri için Değerlendirme Kriterlerinin Sonuçları

Odaklama Fonksiyonu	Koşma Süresi	Doğruluk	Yerel Maksimum Nokta Sayısı	Range	Gürültü Seviyesi (ss=0.01)	Gürültü Seviyesi (ss=0.03)	Gürültü Seviyesi (ss=0.05)
Eşikli Gradyan	10.03	1.5	135	120.75	1	0.75	0.25
Tenengrad	9.24	2.25	97.75	6.75	3.25	2	2.25
Karesel Gradyan	8.875	0.5	122.25	118.5	1.5	2.75	1.75
Laplace Enerjisi	8.32	1.75	148.75	24.75	154	286	301
Değiştirilmiş Laplacian	9.58	1.25	148	38.5	1	67.25	69.5
Dalgacık Kats. Toplamı	46.215	1.25	149.75	24	59.25	67.5	69.75
Dalgacık Kats. Varyansı	50.505	2	164.75	8.25	6	5.25	0.5
Varyans	7.55	0.75	17.25	355.5	0.25	0	0.5
Normalleştirilmiş Varyans	13.195	1	113.25	164	0.75	0.5	1
Histogram Entropi	8.015	1.5	27.75	263.75	1.5	1.5	2.5
Ayrık Kosinüs Dönüşümü	8.33	1.25	139	110.25	1.25	0.25	1
Autocorrelation	8.58	3.75	152	6.5	259.25	263.75	239.75

Tablo III: 20x Büyütme Objektifi ile Taranarak Elde Edilen Görüntü Serileri için Değerlendirme Kriterlerinin Sonuçları

Odaklama Fonksiyonu	Koşma Süresi	Doğruluk	Yerel Maksimum Nokta Sayısı	Range	Gürültü Seviyesi (ss=0.01)	Gürültü Seviyesi (ss=0.03)	Gürültü Seviyesi (ss=0.05)
Eşikli Gradyan	9.125	1.25	143.5	69	0.5	0.75	0.75
Tenengrad	8.47	0.75	120.75	112.25	1	1	1
Karesel Gradyan	8.3	1.25	137.75	50.75	162.5	135.5	206.25
Laplace Enerjisi	7.68	1.5	160.5	17.5	1	0.5	1.75
Değiştirilmiş Laplacian	9.06	0.75	156	17.5	1.5	1.75	137.25
Dalgacık Kats. Toplamı	42.86	1.25	156.25	17.5	101.5	138.5	159.25
Dalgacık Kats. Varyansı	47.445	1.25	160.75	15.25	48.75	49	50.25
Varyans	6.93	1.25	24.5	381	0	0.25	0.25
Normalleştirilmiş Varyans	12.15	1.25	140	80.5	1	0.5	0.75
Histogram Entropi	6.87	3.5	31.75	270.5	3.5	3.5	3.25
Ayrık Kosinüs Dönüşümü	7.51	1.75	145	53.25	0.5	0.25	0.5
Autocorrelation	7.69	2.75	152.25	26.25	115	155.25	249.5

görüntüsü ile orijinal imge dizisinin odaklanmamış görüntüsünün olasılık yoğunluk fonksiyonunda aynı indise sahip olması

idealdir. Bunun için gürültü seviyesi kriterinin 0'a yakın olması beklenmektedir.



Tıbbi Görüntüleme Sistemleri

12 Ekim 2017 - 17.15-18.45 - Salon C

Tablo IV: 40x Büyütme Objektifi ile Taranarak Elde Edilen Görüntü Serileri için Değerlendirme Kriterlerinin Sonuçları

Odaklama Fonksiyonu	Koşma Süresi	Doğruluk	Yerel Maksimum Nokta Sayısı	Range	Gürültü Seviyesi (ss=0.01)	Gürültü Seviyesi (ss=0.03)	Gürültü Seviyesi (ss=0.05)
Eşikli Gradyan	8.62	1	144	22	171.25	128.75	200.25
Tenengrad	8.06	2	120	74	4.25	2.5	2.75
Karesel Gradyan	7.8	0.75	131	49.5	58.75	105.5	117.5
Laplace Enerjisi	7.35	1.5	155.5	6.25	141.5	208.5	218
Değiştirilmiş Laplacian	8.65	1.5	152.5	6	174.75	201.75	205.25
Dalgacık Kats. Toplamı	42.36	1.5	154.5	6	204	227.5	202.5
Dalgacık Kats. Varyansı	45.375	218	161.75	6	24.25	26.5	20.25
Varyans	6.6	0.25	41	162	0.25	0.5	0.25
Normalleştirilmiş Varyans	11.29	0.5	136.5	61	1.5	1.25	1.25
Histogram Entropi	6.57	2	44	141.25	2.25	2	2
Ayrık Kosinüs Dönüşümü	7.27	0.75	139.25	43.75	179.25	177.25	170.75
Autocorrelation	7.33	4.5	153.5	9.75	124.5	108.75	95.75

Çalışmada 10x büyütme objektifi kullanılarak 550 görüntüden oluşan 4 farklı imge serisi oluşturulmuştur. Her bir imge serisi üzerinde 12 farklı odaklama fonksiyonu kullanılarak otomatik odaklama işlemi gerçekleştirilmiş ve değerlendirme kriterleri sonuçları hesaplanmıştır. 4 farklı imge serisinin değerlendirme kriterleri sonuçlarının ortalamaları alınarak genel sonuçlar elde edilmiş ve tablo 2'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en ideal odaklama fonksiyonunun istatistiksel fonksiyonlardan olan Varyans olduğu görülmüştür. Dalgacık tabanlı fonksiyonların doğruluk, yerel maksimum nokta sayısı ve range kriterleri bakımından ideale yakın olması ve gürültüye karşı dayanıklılığı dikkat çekmektedir. Fakat bu fonksiyonlar koşma süresi bakımında dezavantaja sahiptirler. Normalleştirilmiş Varyans fonksiyonu doğruluk bakımından ideal olmasına rağmen diğer değerlendirme kriterlerine göre Varyans'tan daha düşük sonuç vermiştir. Ek olarak koşma süresi bakımında en optimum sonuca sahip olan fonksiyon Histogram entropi fonksiyonudur. Fakat diğer değerlendirme kriterleri bakımından performansı düşüktür.

Çalışmada farklı bir büyütme objektifi olarak 20x kullanılmış ve bu objektif ile adım motoru yardımıyla mikroskop Z yönünde taranarak herbiri 500 görüntüden oluşan 4 farklı imge serisi oluşturulmuştur. Her bir imge serisi üzerinde 12 farklı odaklama fonksiyonu kullanılarak otomatik odaklama işlemi gerçekleştirilmiş ve değerlendirme kriterleri sonuçları hesaplanmıştır. 4 farklı imge serisinin değerlendirme kriterleri sonuçlarının ortalamaları alınarak genel sonuçlar elde edilmiş ve tablo 3'te gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre istatistiksel fonksiyonlardan olan Varyans ve Histogram Entropi metodlarının en ideal olduğu görülmüştür. Ek olarak Tenegrad ve Değiştirilmiş Laplacian fonksiyonları doğruluk kriterine göre başarılı olmalarına rağmen gürültü hassasiyeti ve yerel maksimum nokta sayısı bakımından düşük performanslıdır.

Çalışmada en büyük büyütme oranına sahip objektif olarak 40x kullanılmış ve bu objektif ile adım motoru yardımıyla mikroskop Z yönünde taranarak her biri 480 görüntüden oluşan 4 farklı imge serisi oluşturulmuştur. Her bir imge serisi üzerinde 12 farklı odaklama fonksiyonu kullanılarak otomatik odaklama işlemi gerçekleştirilmiş ve değerlendirme kriterleri sonuçları hesaplanmıştır. 4 farklı imge serisinin değerlendirme kriterleri sonuçlarının ortalamaları alınarak genel sonuçlar elde edilmiş ve tablo 4'te gösterilmiştir. Tablo 4'deki tüm değerlendirme kriterlerinin sonuçlarına göre en ideal odaklama fonksiyonunun Varyans olduğu görülmüştür. Elde edilen

sonuçlara göre istatistiksel fonksiyonlardan olan Histogram Entropi metodu koşma zamanı, yerel maksimum nokta sayısı ve range kriterleri bakımından ideale yakın gözükmektedirler. Fakat doğruluk bakımından Varyansa göre düşük performans göstermektedirler.

IV. DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmada literatürde kullanılmamış bir alan olan sitopatolojik değerlendirme süreçleri için optimum otomatik odaklama fonksiyonu belirlenmiştir. Test verileri oluşturmak için hazırlanan numune 3 farklı büyütme objektifi (10x - 20x -40x) ile taranmıştır. Her büyütme objektifinden 4 tane olmak üzere 12 farklı imge serisi oluşturulmuştur. Oluşturulan imge serilerinde otomatik odaklama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan değerlendirme kriterleri (koşma süresi, doğruluk, yerel maksimum nokta sayısı, range, gürültü seviyesi) sonuçlarına göre her büyütme objektifi için optimum odaklama fonksiyonunun istatistiksel tabanlı fonksiyonlardan olan Varyans'ın olduğu görülmüştür.

KAYNAKÇA

- [1] Santos, A., Solozano, C., Vaquero, J., Pena, J. M., Malpica, N. and Pozo, F. D., "Evaluation of Autofocus Functions in Cryogenic Analyses", Journal of Microscopy, 264-272, 1997
- [2] Rudnaya, M. E., Mattheij, R. M. M., J. Maubach, M. L., "Evaluating sharpness functions for automated scanning electron microscopy," Journal of Microscopy, vol. 240, 38-49, 2010.
- [3] Saini, G. R., Panicker, O., Soman B. and Rajan, J., "A comparative study of different auto-focus methods for mycobacterium tuberculosis detection from brightfield microscopic images," 2016 IEEE Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER), Mangalore, 95-100, 2016.
- [4] Sun, Y., Duthaler, S. and Nelson, B. J., "Autofocusing in Computer Microscopy: Selecting the Optimal Focus Algorithm", Microscopy Research and Technique, 65:139-149, 2004.
- [5] Xie, H., Rong, W. and Sun, L., "Construction and Evaluation of a Wavelet-Based Focus Measure for Microscopy Imaging", Microscopy Research and Technique, 70:987-995, 2007.
- [6] Xia, X., Yao, Y., Liang, J., Fang, S., Yang, Z. and Cui, D., "Evaluation of Focus Measures for the Autofocus of Line Scan Cameras", Optic 127, 7762-7775, 2016.
- [7] Pertuz, S., Puig, D. and Garcia, M. A., "Analysis of Focus Measure Operators for Shape-From-Focus" Pattern Recognition, 1415-1432, 2013.
- [8] <http://ceng2.ktu.edu.tr/>