

## ELEKTRON MİKROSKOBUNDAN ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERİN PARÇACIK SAYIMINDA ÖN İŞLEME TEKNİKLERİNİN ETKİSİ

**Saliha Banu ERTÜRK<sup>1</sup>, Murat KARAKOYUN<sup>2,\*</sup>**

<sup>1</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

<sup>2</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 23.08.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 15.12.2023 DOI: 10.54365/adyumbd.1348886

### ÖZET

Görüntü işleme, teknolojinin yüksek seviye gelişimi ile hayatımızın her alanına girmeye başlamıştır. Görüntü işlemenin; eğitim, güvenlik, endüstri, sanayi, sağlık, eğlence gibi farklı alanlarda kullanılması bu alanlara bambaşka boyutlar kazandırmıştır. Görüntü işleme uygulamalarının başarısını etkileyen birçok etken mevcuttur. Bu etkenler içerisinde görüntü kalitesi, kullanılan donanımın özellikleri gibi dış etkenler mevcut iken kullanılan yöntemler, seçilen parametre değerleri gibi uygulama içi etkenler de bulunmaktadır. Dolayısıyla görüntü işleme uygulamalarında birçok durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu çalışmada, elektron mikroskobu ile elde edilen metal parçacık görüntüleri üzerinde parçacık sayımı gerçekleştirilmiştir. Seçilen görüntüler; içerdiği parçacık sayısı, parçacıkların şekilleri, üst üste örtüşmesi gibi özellikleri bakımından karakteristik özelliklere sahiptir. Bu görüntüler üzerinde yapılan parçacık sayımında morfolojik, filtreleme ve eşikleme ön işlem yaklaşımları uygulanmıştır. Bu yaklaşımların parçacık sayımındaki etkileri ayrı ayrı incelenmiştir. Daha sonra bu yaklaşımların birlikte uygulanmasının etkileri ele alınmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara bakıldığında; her bir kategorideki ön işlem adımlarının tek başına yetersiz kaldığı görülmüştür. Ayrıca karakteristiği farklı olan görüntülerde farklı ön işleme kombinasyonlarının başarılı olduğu görülmüştür. Tüm görüntüler için elde edilen ortalama başarıya bakıldığında Açma (morfolojik) – Gauss (filtreleme) – Otsu (eşikleme) kombinasyonunun %59,18 ile ilk sırada yer aldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Eşikleme, Filtreleme, Görüntü işleme, Morfolojik işlemler, Parçacık sayımı

## THE EFFECT OF PRE-PROCESSING TECHNIQUES ON PARTICLE COUNTING OF IMAGES OBTAINED BY ELECTRON MICROSCOPE

### ABSTRACT

Image processing has begun to enter all aspects of our lives with the high-level development of technology. Image processing; its use in different fields such as education, security, industry, health and entertainment has brought a whole new dimension to these fields. There are many factors that affect the success of image processing applications. Among these factors, there are external factors such as image quality, the features of the hardware used, while there are also internal factors such as the methods used and the selected parameter values. Therefore, many situations should be considered in image processing applications. In this study, particle counting was performed on metal powder particle images obtained by electron microscope. Selected images; it has characteristic features in terms of the number of particles it contains, the shapes of the particles, and their overlapping. Morphological, filtering and thresholding preprocessing approaches were applied in particle counting on these images. The effects of these approaches on particle counting are examined separately. Then, the effects of applying these approaches together are discussed. Considering the experimental results obtained; it has been seen that the pre-processing steps in each category alone are insufficient. In addition, it has been observed that different preprocessing combinations are successful in images with different characteristics. Considering the average success achieved for all images, it was seen that the Opening (morphological) - Gauss (filtering) - Otsu (thresholding) combination ranked first with 59.18%.

**Keywords:** Thresholding, Filtering, Image processing, Morphological operators, Particle counting

e-posta<sup>1</sup> : [salihabanuerturk@gmail.com](mailto:salihabanuerturk@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-2659-599X>

\* e-posta<sup>2</sup> : [mkarakoyun@erbakan.edu.tr](mailto:mkarakoyun@erbakan.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0677-9313> (Sorumlu Yazar)

## 1. Giriş

Görüntü işleme ile parçacık veya partikül sayımı gibi uygulamalara farklı disiplin alanlarında gerek duyulmaktadır. Parçacıkların doğru sayımı sonuçlar açısından oldukça büyük bir öneme sahiptir. Parçacık analizi ve sayımı problemi üzerine literatüre kazandırılan birçok çalışma vardır. Bu çalışmalar birçok farklı alanlarda farklı ortam ve cihazlar ile elde edilen görüntülere yönelik yapılmıştır. Üzerinde çalışılan görüntünün elde edildiği cihazın özellikleri veya parçacık sayımı için kullanılan yöntem, başarı durumunu büyük ölçüde etkilemektedir. Literatüre bakıldığında, parçacık sayımı problemi hakkında endüstri, sağlık, tarım ve tekstil gibi bir çok farklı alanda bir çok çalışmanın gerçekleştirildiği görülmektedir [1-4]. Şüphesiz yapılan tüm çalışmalarını incelemek zaman ve efor açısından imkansız gibi görünmektedir. Bu nedenle mevcut güncel çalışmalardan önemli görülen bazı çalışmalar ele alınmıştır.

Adams ve ark. [5] akciğer bilgisayarlı tomografi görüntülerinde görüntü işleme uygulamaları ile tümörlerinin tespitinde BT (Bilgisayarlı Tomografi) görüntülerini incelemiştir. Tümör tespiti için üç aşamada görüntüleri ele almışlardır. Segmentasyon sonucu test görüntülerinin %83,56'sı başarıyla bölümlere ayırdığını, doku özelliklerini kullanarak, açıklamalı öğelerin %80,82'sine kadar tümörlerin başarılı bir şekilde tespit edilip, SVM (Support Vector Machine) ile doku özelliklerinin sınıflandırılmasına yönelik sunulan metodolojinin küçük eğitim setlerinde bile iyi sonuçlar elde edebildiğini gözlemlemiştir. Metodolojilerin, otomatik tümör teşhisi için eksiksiz bir sistemin uygulanmasında başarıyla kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Özdet ve İçer [6] akciğer tümör tespiti çalışmalarında sütunsal tarama yaklaşımı ve klasik eşikleme yöntemi kullanmışlardır. İki yöntemin kullanılan veri setinde başarılı akciğer segmentasyonu yapma oranları klasik eşikleme için %30,77 olup sütunsal tarama metodu için %80,77 olduğunu gözlemlemiştir.

Telli ve Özkan [7] tekstil mamullerinde giyim ve yıkanma sonucu sürtünmeye bağlı olarak oluşan boncuklanma sayısının tespitini gerçekleştirmişlerdir. Gri Düzey Eş Oluşum Matrisi (Gray Level Co-Occurrence matrix, GLCM) ile doku analizi yapılabilecek formata getirilen görüntülere standart sapma filtresi uygulanmıştır. Daha sonra Otsu'nun global eşikleme algoritmasını kullanmışlardır. Görüntü erozyona uğratarak, belirlenen büyüklüğün altındaki değerler maskelenmiştir. Referans yarıçapı belirlenerek her devir için sağlıklı bir karşılaştırma olanağı sunulmuştur. Diğer çalışmalardan farklı olarak özel bir görüntü alma sistemi kurulmasına gerek kalmadan standart ofislerde kullanılan tarayıcılardan alınan görüntüler ile kumaş yüzeyindeki boncuklanma tespitini sağlamışlardır.

Çam ve Güven [8] yaptıkları çalışma ile mikroskop altında alınan kan hücresi görüntülerinden beyaz kan hücresi sınıflandırılmasına yönelik yaptıkları incelemeler ile nötrofil, lenfosit, eosinofil, monosit ve basofil hücrelerin kan içinde bulunma sayılarını tespit etmeyi ve bu sayılara göre hastalıkların tespitini amaçlamışlardır. Çalışmalarında segmentasyon amacıyla kullandıkları Watershed, k-means, kNN (k-Nearest Neighbors) yöntemlerinin başarılı olduğunu, sınıflandırma işleminde CNN (Convolutional Neural Network) ve SVM (Support Vector Machine) yöntemlerinin yapay sinir ağı destekli kullanımı ile maksimum başarıyı sağladığını gözlemlemiştir.

Aşlıyan [9] beyin tümörü tespitinde MR (Manyetik Rezonans) görüntüleri üzerinde Otsu eşikleme yöntemini ve Rocchio sınıflandırıcı metodu kullanmıştır. Bu çalışmada, ilk olarak beyin tümörü veri seti, eğitim ve test olmak üzere ikiye bölünmüş ve sistem Rocchio metoduyla eğitilmiştir. Sonrasında test veri setindeki görüntüler Otsu metodu ile bölütlenmiştir. Kafatası ayrılmadan ve ayrıldıktan sonraki görüntüler bölütlenmiş ve doğruluk, kesinlik ve seçicilik başarı ölçülerine göre değerlendirilmiş ve başarıları karşılaştırılmıştır. Kafatası ayrıldıktan sonra başarı oranının yaklaşık %10 arttığını gözlemlemiştir. Bununla birlikte art-işlemeli sistem uygulandığında %10'a ek olarak başarı oranları yaklaşık %4 daha yükseldiğini görmüştür. Sistemin doğruluk, kesinlik ve seçicilik oranları sırasıyla %96, %95 ve %95 olduğu sonucuna varmıştır.

Boztoprak ve Ergün [10] yapraklı ağaçların kalitesini ve kullanım alanını belirleyen trahe ve liflerin sayısını bulmak üzere yapraklı ağaçların mikroskopik yapıda enine kesit görüntüsünü

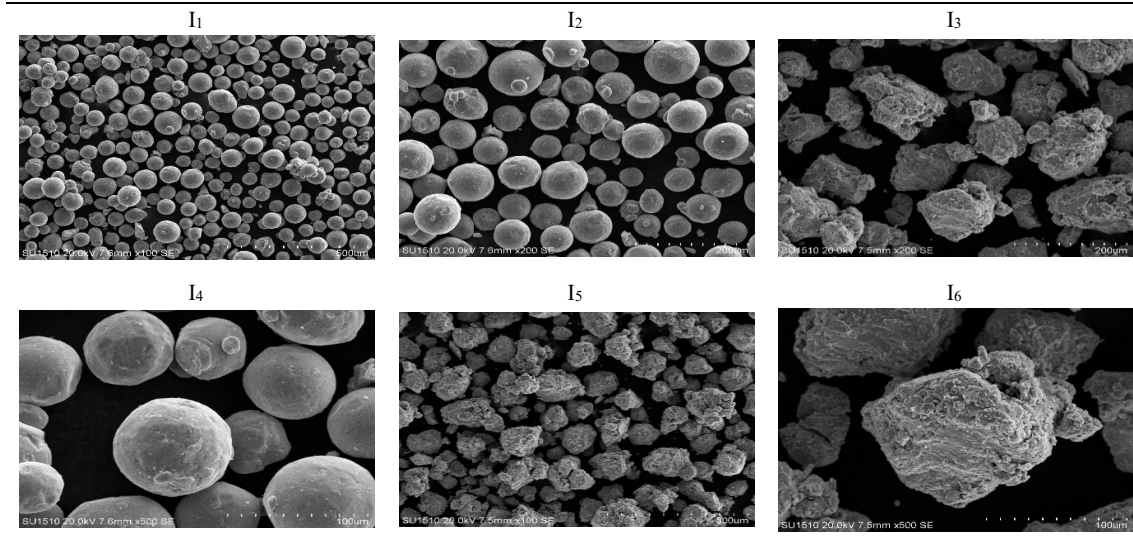
incelemişlerdir. Trahe ve lifleri belirlemek için gri seviyedeki görüntülere kapama ve eşikleme işlemleri uygulamışlardır. Traheleri belirledikten sonra görüntüden çıkarıp lifler için eşikleme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kullandıkları morfolojik işlemlerin klasik yöntemlerden daha pratik olduğunu gözlemlemişlerdir.

Karşılı ve Dihkan [11] çalışmalarında, granit kayaçlar üzerindeki K-feldspar kristallerine ait çeşitli ölçütlerin tespitine yönelik olarak uygun bir otomatik görüntü analiz tekniği geliştirmişlerdir. Çalışmada tanecik tespiti ve sınırlarının belirlenmesinde başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Kullandıkları şekil tanıma teknikleri yardımıyla yapılan analizlerde, taneciklerin şekilsel özelliklerine göre sınıflandırmasını yapmışlardır. Son olarak metodun, farklı düzeyde başkalaşımın meydana gelmiş kayaç türleri üzerinde test edilmesi gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Kerimoğlu [12] yaptığı tez çalışmasında, mikroskop altında almış olduğu kırmızı kan hücre görüntüleri üzerinde morfolojik işlemler, mantıksal işlemler ve Hough Transform tekniği kullanmıştır. CHT (Circle Hough Transform) dairesel desenler bulmaya yönelik bir teknik olup merkezi  $(x_0, y_0)$  ve bir yarıçap  $(r)$  ile karakterize edilen bir çemberi bulmak için tasarlanmıştır. Bu işlemler sonucunda Kerimoğlu yüksek maliyetli akış sitometrelerine alternatif oluşturabilecek, sahrada kullanım için uygun, düşük maliyetli, maliyetine oranla yüksek doğruluk oranı sağlayan bir POC (Proof of Concept) akış sitometresi sistemi geliştirmiştir.

Bu çalışmada elektron mikroskobu ile elde edilmiş olan 6 görüntü veri seti olarak kullanılmış olup, üzerinde çalışma ve deneyler yapılmıştır. Parçacık sayımında kullanılması tercih edilen morfolojik işlemler, eşikleme ve filtreleme işlemleri bu çalışmada da kullanılmıştır. Kullanılan her bir ön işleme yaklaşımının sonuçları kategorik olarak sunulmuştur. Ayrıca her bir kategorideki en başarılı ön işleme yönteminin sonuçları birbiri ile karşılaştırılmıştır. Son olarak farklı kategorilerdeki ön işleme yöntemlerinin birbiri ile kullanılması sonucu elde edilen deneysel sonuçlar sunulmuştur. Bu aşamada farklı kombinasyonlar kullanılarak en başarılı olan tespit edilmeye çalışılmıştır. Tüm görüntülerde başarılı olan bir kombinasyon elde edilememiştir. Bununla beraber tüm görüntüler üzerinde ortalama en iyi başarı ise %59,18 ile *Açma (morfolojik) – Gauss (filtreleme) – Otsu (eşikleme)* kombinasyonu ile elde edilmiştir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir: 2. Bölümde çalışmada kullanılan görüntüler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bu bölümde ayrıca parçacık sayımında kullanılan ön işleme yaklaşımları detaylandırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar ise 3.Bölümde detaylı bir şekilde sunulmuştur. Son olarak çalışmanın genel bir değerlendirilmesi 4.Bölümde yapılmıştır.



Şekil 1. Elektron mikroskobu ile elde edilen parçacık görüntüleri

## 2. Materyal ve Metod

Bu bölümde kullanılan görüntüler hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca bu görüntüler üzerinde yapılan parçacık sayımı işleminden önce kullanılan ön işleme yöntemleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

### 2.1. Kullanılan Görüntüler

Bu çalışmada, elektron mikroskobu ile elde edilen metal parçacıkları görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerin etkilerinin daha detaylı incelenebilmesi adına farklı karakteristikteki görüntüler ele alınmıştır. Şekil 1’de kullanılan görüntüler sunulmuştur. Görüntüler incelendiğinde yapısal olarak birbirinden farklı görüntülerin olduğu görülmektedir. Bununla beraber parçacıkların konumlarının karmaşıklıkları bakımından da görüntülerin birbirinden farklı karakteristiklere sahip olduğu görülmektedir.

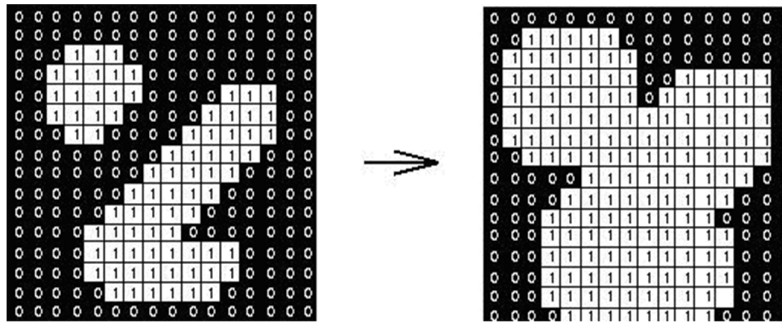
### 2.2. Görüntü Ön İşleme Yaklaşımları

Elektron mikroskobundan elde edilen görüntüler üzerinde parçacık sayımından önce bazı ön işleme adımları uygulanmış ve bu yöntemlerin etkileri incelenmiştir. Kullanılan ön işleme yaklaşımları genel olarak *morfolojik işlemler*, *eşikleme* ve *filtreleme* şeklinde kategorize edilebilir.

#### 2.2.1. Morfolojik İşlemler

Görüntü işlemede sıkça tercih edilen temel işlemlerdendir. Morfolojik işlemler çok geniş bir kullanım alanına sahiptir; görüntünün kaldırılması, istenilen görüntünün veya nesnenin izole edilmesi ve kopuk nesnelerin birleştirilmesi gibi işlemler [13]. Gelişmiş morfolojik işlemler pikseller yerine parçacıklar üzerinde yoğunlaşarak en iyi görüntüyü elde etmeyi amaçlamaktadır [14]. Bu çalışmada *genişleme*, *aşındırma*, *açma* ve *kapama* morfolojik işlemleri kullanılmıştır.

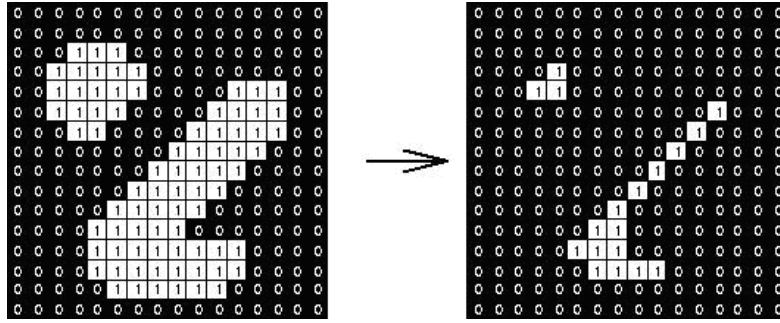
*Genişleme* işlemi giriş olarak verilen görüntü üzerindeki parametreler ile verilen alan içerisindeki sınırları genişletmektedir. Bu genişletme sayesinde piksel grupları büyür ve pikseller arası boşluklar küçülür [15]. Sayısal bir resmi genişletmek resmi yapısal elemanla kesiştiği bölümler kadar büyütme demektir. Kalınlaştırma işleminin nasıl yapılacağını yapı elemanı belirler [16]. Şekil 2’de örnek bir genişleme sonucu verilmiştir. Örnekte beyaz pikseller nesneyi temsil ederken siyah pikseller arka planı temsil etmektedir.



Şekil 2. Genişleme morfolojik işlemi sonucu

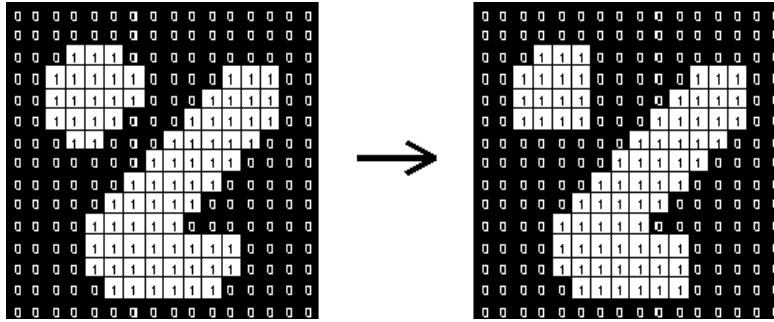
*Aşındırma* işlemi, ikili moda dönüştürülen görüntü üzerinde küçültme ya da inceltme işlemlerinin yapıldığı morfolojik sonuçları kapsamaktadır. Aşındırma işlemi bir bakıma genişleme işleminin tersidir. Aşındırma işlemi ile sayısal resim üzerinde inceltme yapılmış dolayısıyla görüntüde tahribat meydana

getirilmiş olur [17]. Şekil 3'te aşındırma işleminin örnek bir uygulaması sunulmuştur. Şekilden anlaşılacağı üzere aşındırma sonucunda görüntü içindeki nesnenin boyutunda azalma olurken arka planda artma olmuştur. Yani söz konusu aşınma görüntü içindeki nesnelere olmaktadır.



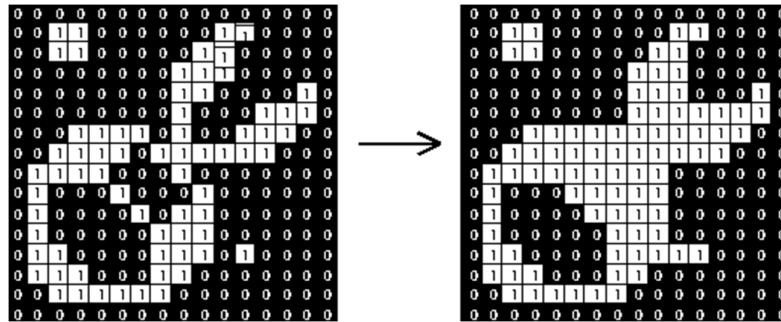
Şekil 3. Aşındırma morfolojik işlemi sonucu

*Açma* işlemi, sayısal bir görüntüye ilk olarak aşındırma sonrasında ise genişleme işleminin uygulanmasıyla elde edilmektedir [18]. Açma işlemi tek piksellik nesnelere ve tek piksellik çıkıntılara gibi küçük anormallikleri görüntüden kaldırmak için kullanılır. Şekil 4'te açma morfolojik işleminin bir görüntü üzerindeki etkisi sunulmuştur.



Şekil 4. Açma morfolojik işlemi sonucu

*Kapama* işlemi, sayısal bir görüntüye ilk olarak genişleme sonrasında ise aşındırma işleminin uygulanmasıyla elde edilmektedir [18]. Kapama işlemi tek piksellik küçük delikler ve tek piksellik girintileri kaldırmak için kullanılmaktadır. Şekil 5'te sayısal bir görüntüye uygulanmış kapama işleminin sonuçları sunulmuştur.



Şekil 5. Kapama morfolojik işlemi sonucu

### 2.2.2. Eşikleme Yaklaşımı

Eşikleme işlemi görüntüyü sonraki aşamalar için daha anlaşılır hale getirmek ve sonraki işlemlere hazırlamak için uygulanan bir süreçtir. Bu aşamadaki temel amaç pikselleri gruplandırmaktır. Görüntüdeki pikselleri benzerliklerine göre ve görüntünün daha az pikselle temsil edilmesine göre gruplandırma yapılır. Bu aşamadan sonra görüntüdeki nesnelere arka plandan ayırmak daha kolay olmaktadır. Bu yöntem basit ve pratik olması nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir [19]. Bu çalışmada, eşikleme yöntemleri içerisinde popüler olan benzerlik tabanlı Otsu metodu ve entropi tabanlı Kapur metodu kullanılmıştır.

*Otsu* metodu [20], en iyi eşik değerlerini bulmak için basit ve etkili bir tekniktir. Bu yöntem, sınıf içi varyansı en aza indirerek veya sınıflar arasındaki varyansı en üst düzeye çıkararak en uygun eşik değerlerini seçer. Ayrıca, bu yöntem hem iki seviyeli hem de çok seviyeli eşik bulmak için kullanılabilir. Bu çalışmada *Otsu* metodunun sınıf içi varyansı minimize etmeyi amaçlayan yaklaşımı kullanılmıştır. Burada amaç sınıflar içerisindeki toplam varyansı minimize eden eşik değerlerini belirlemektir [21].

*Kapur* entropisi [22], eşikleme için kullanılan başka bir basit yöntemdir. Bu yaklaşım entropiye dayalı olarak çalışır. Temel amaç, ayrılan bölgelerin entropisini eşik değerleri ile maksimize etmektir [19].

### 2.2.3. Filtreleme

Filtreleme işleminde renkli görüntüler, gri tonlu görüntüye dönüştürüldükten sonra filtreleme uygulanabilir. Filtre, 3x3, 5x5, 7x7 gibi piksel boyutlu sayı matrisidir (kernel) ve uygulanacak filtreleme yöntemine göre bu sayı matrisi farklı değerlerden oluşmaktadır. Filtreleme, bu filtre matrisi görüntü üzerindeki bütün piksellerde dolaştırılarak uygulanır. Yüksek frekansları vurgulayan ve düşük frekansları bastıran filtrelere yüksek geçirgenli filtreler (high-pass filters) denir. Yüksek geçirgenli filtreler açık ve koyu tonlu detaylar arasındaki farkı belirginleştirir. Benzer olarak alçak geçirgenli filtreler de vardır. Alçak geçirgenli filtreler (low-pass filters) açık ve koyu detaylar arasındaki ton farkını azaltırlar [23]. Bu çalışmada *Medyan* ve *Gauss* filtreleme yaklaşımları kullanılmıştır.

*Medyan (Ortanca)* filtresi, genellikle bir görüntüdeki tuz-biber olarak adlandırılan gürültüyü gidermek için kullanılan doğrusal olmayan bir dijital filtreleme tekniğidir. Aynı zamanda bir alçak geçiren filtredir. Görüntüde parazit azaltma işlemi, sonraki işlemin sonuçlarını iyileştirmek için tipik bir ön işleme adıdır. Belirli koşullar altında gürültüyü ortadan kaldırırken kenarları korur. Filtrenin sinyal işleme uygulamaları da mevcuttur [12, 24]. Şekil 6'da tuz-biber gürültüsünü gidermek amacıyla uygulanmış medyan filtresinin etkisi sunulmuştur.



Şekil 6. Medyan filtresi ile temizlenen görüntü

*Gauss* filtreleme yöntemi görüntüde her piksel bölgesinin ağırlıklı ortalamalarını çıkararak merkez piksel değerine doğru yaklaştıkça ağırlıklandırmayı giderek artırır. Bu durum, ortalama filtreleme yöntemine göre daha hassas bir düzeltme yaparak görüntüdeki veri geçişlerinin daha yumuşak hale getirilmesini sağlar. Böylelikle görüntüde düzeltme sağlayan ve bulanıklık etkisi oluşturan alçak

geçiren bir filtre elde edilir [25, 26]. Şekil 7’de Gauss filtresinin bir görüntü üzerindeki sonucu sunulmuştur.



Şekil 7. Gauss filtresi uygulanan görüntü

### 2.3. Kontur Bulma

Kontur çıkarımı işlemi aynı renk ve yoğunluğa sahip pikselleri gruplayarak kesintisiz bir biçimde birleştiren kapalı bir eğri bulma olarak tanımlanabilir. Kontur bulma işlemi görüntü işleme biliminin en temel yapı taşlarından bir tanesidir. Konturlar genel olarak bir görüntüde bulunan nesnelere [27].



Şekil 8. Kontur bulma işlemi ile nesne tespiti

## 3. Deneysel Sonuçlar

Bu bölümde her bir ön işleme kategorisi uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar ayrı ayrı ele alınmıştır. Daha sonra sonuçlar genel olarak değerlendirilmiştir.

### 3.1. Morfolik İşlemlerin Uygulanması Sonucu Elde Edilen Sonuçlar

Görüntüler ilk olarak gri seviyeye getirildikten sonra morfolojik işlemler uygulandı. Şekil 1’de verilmiş olan görüntülere (3x3) - (11x11) maske boyutu aralığında genişleme, aşındırma, açma ve kapama morfolojik işlemleri uygulandı. Her bir morfolojik işlemin uygulanması sonucu elde edilen parçacık sayımı sonuçları Çizelge 1-4’te verilmiştir.

**Çizelge 1.** Farklı maske boyutlarında uygulanan *Genişleme* morfolojik işlemi sonucu elde edilen parçacık sayım sonuçları

Görüntü	Gerçek Parçacık Sayısı	Maske Boyutları				
		3x3	5x5	7x7	9x9	11x11
I <sub>1</sub>	243	2177	1796	1703	1477	<b>1324</b>
I <sub>2</sub>	65	1715	1227	984	826	<b>785</b>
I <sub>3</sub>	28	3102	2264	1578	1185	<b>963</b>
I <sub>4</sub>	16	1556	953	715	615	<b>534</b>
I <sub>5</sub>	82	4025	2930	2128	1641	<b>1346</b>
I <sub>6</sub>	7	2051	1512	1120	859	<b>698</b>

**Çizelge 2.** Farklı maske boyutlarında uygulanan *Aşındırma* morfolojik işlemi sonucu elde edilen parçacık sayım sonuçları

Görüntü	Gerçek Parçacık Sayısı	Maske Boyutları				
		3x3	5x5	7x7	9x9	11x11
I <sub>1</sub>	243	1063	607	434	378	<b>346</b>
I <sub>2</sub>	65	988	404	279	233	<b>195</b>
I <sub>3</sub>	28	2629	1472	939	638	<b>494</b>
I <sub>4</sub>	16	799	420	165	104	<b>87</b>
I <sub>5</sub>	82	3277	1945	1313	978	<b>750</b>
I <sub>6</sub>	7	1632	899	620	441	<b>348</b>

**Çizelge 3.** Farklı maske boyutlarında uygulanan *Açma* morfolojik işlemi sonucu elde edilen parçacık sayım sonuçları

Görüntü	Gerçek Parçacık Sayısı	Maske Boyutları				
		3x3	5x5	7x7	9x9	11x11
I <sub>1</sub>	243	1027	626	443	369	<b>337</b>
I <sub>2</sub>	65	727	339	234	196	<b>155</b>
I <sub>3</sub>	28	2585	1467	896	594	<b>421</b>
I <sub>4</sub>	16	554	208	127	84	<b>67</b>
I <sub>5</sub>	82	3221	1849	1254	921	<b>684</b>
I <sub>6</sub>	7	1463	871	572	405	<b>319</b>

**Çizelge 4.** Farklı maske boyutlarında uygulanan *Kapama* morfolojik işlemi sonucu elde edilen parçacık sayım sonuçları

Görüntü	Gerçek Parçacık Sayısı	Maske Boyutları				
		3x3	5x5	7x7	9x9	11x11
I <sub>1</sub>	243	1279	1221	1240	1170	<b>1019</b>
I <sub>2</sub>	65	1177	866	720	615	<b>532</b>
I <sub>3</sub>	28	2899	1937	1316	994	<b>777</b>
I <sub>4</sub>	16	1081	663	548	472	<b>423</b>
I <sub>5</sub>	82	3404	2430	1750	1302	<b>1023</b>
I <sub>6</sub>	7	1802	1283	963	738	<b>578</b>

Çizelge 1-4'te verilen sonuçlara bakıldığında, ön işleme adımı olarak kullanılan morfolojik işlemlerin oldukça başarısız sonuçlar ürettiği görülmektedir. Her bir morfolojik işlem kendi içerisinde değerlendirildiğinde maske boyutu 11x11 olduğunda diğer maske boyutlarına göre daha başarılı



sonuçların elde edildiği görülmektedir. Morfolojik işlemlerin genel olarak sonuçlarına bakıldığında ise açma işleminin diğerlerine kıyasla daha başarılı olduğu söylenebilir.

### 3.2. Eşikleme Yaklaşımlarının Uygulanması Sonucu Elde Edilen Sonuçlar

Gri seviyeye dönüştürülen görüntüler üzerine uygulanan diğer ön işleme yaklaşımı ise eşikleme olmuştur. Daha önce belirtildiği üzere bu çalışmada temel eşikleme yaklaşımlarından olan Otsu ve Kapur yöntemleri kullanılmıştır. Otsu ve Kapur yaklaşımları uygulanması ile elde edilen parçacık sayım sonuçları Çizelge 5'te sunulmuştur. Eşikleme işlemleri ile elde edilen sonuçlar da morfolojik yaklaşımlara benzer olarak tatmin edici seviyede olmamıştır. Dolayısıyla eşikleme ön işleme yaklaşımının da tek başına başarılı sonuçlar vermediği görülmüştür.

**Çizelge 5.** Otsu ve Kapur eşikleme yöntemi sonucu elde edilen parçacık sayım sonuçları

Görüntü	Gerçek Parçacık Sayısı	Eşikleme Yöntemi	
		Otsu	Kapur
I <sub>1</sub>	243	<b>719</b>	4077
I <sub>2</sub>	65	<b>513</b>	3956
I <sub>3</sub>	28	<b>1446</b>	2190
I <sub>4</sub>	16	<b>940</b>	4460
I <sub>5</sub>	82	<b>3291</b>	3698
I <sub>6</sub>	7	3202	<b>2969</b>

### 3.3. Filtreleme İşeminin Uygulanması Sonucu Elde Edilen Sonuçlar

Filtreleme işlemi, gri seviyeye dönüşüm yapıldıktan sonra uygulanmıştır. Daha önce bahsedildiği üzere gauss ve medyan filtreleme yaklaşımları kullanılmıştır. Filtreleme işlemlerinde de morfolojik işlemlerde olduğu gibi maske boyutu (3x3) - (11x11) aralığında uygulanmıştır. Çizelge 6-7'de sırasıyla Gauss ve medyan filtreleme işlemlerinin uygulanması ile elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

**Çizelge 6.** Gauss filtresinin uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar

Görüntü	Gerçek Parçacık Sayısı	Maske Boyutları				
		3x3	5x5	7x7	9x9	11x11
I <sub>1</sub>	243	683	693	544	482	<b>412</b>
I <sub>2</sub>	65	728	367	208	164	<b>139</b>
I <sub>3</sub>	28	2283	1582	701	338	<b>181</b>
I <sub>4</sub>	16	594	301	159	108	<b>71</b>
I <sub>5</sub>	82	3178	2023	985	561	<b>310</b>
I <sub>6</sub>	7	1121	729	411	254	<b>152</b>

**Çizelge 7.** Medyan filtresinin uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar

Görüntü	Gerçek Parçacık Sayısı	Maske Boyutları				
		3x3	5x5	7x7	9x9	11x11
I <sub>1</sub>	243	935	514	473	340	<b>308</b>
I <sub>2</sub>	65	763	299	231	152	<b>134</b>
I <sub>3</sub>	28	2502	1223	659	312	<b>186</b>
I <sub>4</sub>	16	710	199	185	81	<b>54</b>
I <sub>5</sub>	82	3319	1635	908	519	<b>363</b>
I <sub>6</sub>	7	1347	766	484	237	<b>130</b>

Filtreleme işlemleri sonucu elde edilen deneysel sonuçlara bakıldığında genel olarak gerçek parçacık sayılarından daha farklı değerlerin elde edildiği görülmektedir. Medyan ve Gauss filtrelerinin başarıları kıyaslandığında ise Medyan filtresinin nispeten daha başarılı sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Ancak bu başarı tatmin edici düzeyde değildir.

### 3.4. Ön İşleme Yaklaşımlarının Birlikte Kullanılması Sonuçları

Ön işlem adımlarının her birisi için deneysel sonuçlar elde edildi. Bu sonuçların her birine ayrı ayrı bakıldığında hiç bir ön işleme adımının tatmin edici seviyede başarı yakalayamadığı görülmektedir. Bu noktada ön işlem adımlarının birlikte kullanılmasının nasıl bir sonuç vereceği merak konusu olmaktadır. Ön işleme adımlarının tek başına yetersiz kalması ve birlikte kullanılmalarının etkilerinin incelenmesi adına her bir kategoriden birer yöntem alınarak farklı kombinasyonlar ile uygulanmıştır. Morfolojik ve filtreleme işlemlerinde maske boyutu 11x11 iken genel olarak daha başarılı sonuçların alındığı gözlemlendiğinden kombinasyonlarda bu iki kategori için maske boyutu bu şekilde seçilmiştir. Her bir kategoriden alınan yöntemlerin oluşturduğu kombinasyonlar ve bu kombinasyonlardan elde edilen sonuçlar Çizelge 8’de sunulmuştur. Çizelgede her bir kombinasyonun bulduğu parçacık sayısı ile gerçek parçacık sayısına oranlandığında elde ettiği başarı yüzdesi parantez içerisinde verilmiştir. Ayrıca çizelgenin en sağında tüm görüntüler için elde edilen ortalama başarı sunulmuştur.

**Çizelge 8.** Farklı kombinasyonlar sonucu elde edilen edilen sonuçlar

Kombinasyonlar	I <sub>1</sub> (243)	I <sub>2</sub> (65)	I <sub>3</sub> (28)	I <sub>4</sub> (16)	I <sub>5</sub> (82)	I <sub>6</sub> (7)	Ortalama başarı (%)
Genişleme-medyan-otsu	62 (%25.52)	9 (%13.85)	24 (%85.72)	7 (%43.75)	65 (%79.27)	51 (NA)	41.35
Genişleme-medyan-kapur	149 (%61.32)	113 (%26.16)	70 (NA)	75 (NA)	80 (%97.5)	51 (NA)	30.83
Genişleme-gauss-otsu	84 (%34.57)	14 (%21.54)	27 (%96.43)	<b>15</b> (%93.75)	74 (%90.25)	56 (NA)	56.09
Genişleme-gauss-kapur	181 (%74.49)	139 (NA)	83 (NA)	91 (NA)	92 (%87.81)	62 (NA)	27.05
Aşındırma-medyan-otsu	202 (%83.13)	63 (%96.93)	48 (28.58)	13 (%81.25)	149 (%18.03)	<b>19</b> (NA)	51.36
Aşındırma-medyan-kapur	134 (%55.15)	89 (%63.08)	45 (%39.29)	33 (NA)	74 (%90.25)	26 (NA)	41.29
Aşındırma-gauss-otsu	206 (%84.78)	69 (%93.85)	52 (%14.29)	12 (%75)	168 (NA)	22 (NA)	44.65
Aşındırma-gauss-kapur	<b>251</b> (%96.71)	89 (%63.08)	47 (%32.15)	39 (NA)	97 (%85.37)	38 (NA)	46.21
Açma-medyan-otsu	33 (%13.59)	27 (541.54)	24 (%85.72)	8 (%50)	55 (%67.08)	28 (NA)	45.80
Açma-medyan-kapur	167 (%68.73)	57 (%87.7)	45 (%39.29)	25 (%43.75)	68 (%82.92)	32 (NA)	56.69
Açma-gauss-otsu	78 (%32.1)	43 (%66.16)	25 (%89.29)	11 (%68.75)	<b>81</b> (%98.79)	29 (NA)	<b>59.18</b>
Açma-gauss-kapur	221 (%90.95)	82 (%73.85)	74 (NA)	26 (%37.5)	141 (%28.65)	37 (NA)	38.49
Kapama-meydan-otsu	6 (%2.47)	12 (%18.47)	26 (%92.86)	8 (%50)	48 (%58.54)	30 (NA)	33.56
Kapama-medyan-kapur	73 (%30.05)	57 (%87.7)	45 (%39.29)	25 (%43.75)	68 (%82.92)	32 (NA)	47.28

Kapama-gauss-otsu	8 (%3.3)	17 (%26.16)	<b>28</b> <b>(%100)</b>	7 (%43.75)	51 (%62.2)	45 (NA)	31.39
Kapama-gauss-kapur	75 (%30.80)	<b>64</b> <b>(%98.47)</b>	59 (NA)	44 (NA)	72 (%87.81)	49 (NA)	36.19

NA: Gerçek parçacık sayısı ile hesaplanan parçacık sayısı arasındaki mutlak fark gerçek parçacık sayısından daha büyük olduğu durumlardır. Ortalama başarı hesaplanırken NA değeri 0 (sıfır) olarak alınmıştır.

#### Çizelge 8. Devamı

Çizelge 8'e bakıldığında farklı karakteristik ve parçacık sayılarına sahip olan görüntülerde farklı kombinasyonlar başarı olmuştur. Her bir görüntüdeki en başarı sonuca bakıldığında kombinasyondaki morfolojik işlemler dikkate alındığında herhangi bir yöntemin öne çıktığı görülmemektedir. Her başarı durumunda farklı bir morfolojik işlemin etki ettiği gözlemlenmektedir. Bu durum eşikleme yaklaşımları için de söz konusudur. Hem Otsu hem de Kapur yöntemlerinin başarılı olduğu kombinasyonlar mevcuttur. Ancak filtreleme ile ön işlem yöntemlerine bakıldığında ise başarılı olan kombinasyonlarda Gauss filtresinin öne çıktığı gözlemlenmektedir. Tüm görüntüler için elde edilen ortalama başarıya bakıldığında ise *Açma-Gauss-Otsu* kombinasyonunun %59.18 ile en başarılı sonucu elde ettiği görülmektedir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, elektron mikroskobu ile elde edilen metal parçacıkları görüntüleri üzerinde parçacık sayımı yapılmıştır. Farklı karakteristik ve parçacık sayılarına sahip olan 6 görüntü üzerinde çalışılmıştır. Parçacık sayımında görüntü ön işleme adımlarının etkilerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda ön işleme adımlarından olan morfolojik işlemler (genişleme, aşındırma, açma ve kapama operatörleri), filtreleme işlemleri (Gauss ve medyan filtre) ve eşikleme yaklaşımları (Otsu ve Kapur) her bir görüntü için ayrı ayrı uygulanmıştır. Morfolojik ve filtreleme işlemlerinin bir parçası olan maske için boyut değerleri 3x3 ile 11x11 aralığında ele alınmış ve analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlara bakıldığında ön işlem adımlarının tek başına uygulandığında oldukça başarısız sonuçların elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle ön işleme adımlarının farklı kombinasyonları kullanılarak yeni sonuçlar elde edilmiştir. Sonucunda, ön işleme adımları birlikte kullanılarak gerçek değere yakın sonuçlar elde edilmiştir. Toplamda 16 farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Bu kombinasyonların her birinde morfolojik, filtreleme ve eşikleme yaklaşımlarından birer tane alınarak oluşturulmuştur. Kombinasyonların uygulanması sonucu elde edilen bulgulara göre *Açma/Gauss/Otsu* kombinasyonunun ortalama başarı olarak öne çıktığı görülmüştür. Görüntüler tek başına değerlendirildiğinde ise her bir görüntü için farklı kombinasyonların gerçeğe yakın sonuçlar üretmek başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, seçilen ön işlem yöntemlerinin sistemin başarısında doğrudan etkili olduğunu göstermiştir.

Gelecekteki çalışmalarda, belirli görüntüler dikkate alınarak hangi tür görüntü için hangi ön işleme adımlarının birlikte kullanılmasının daha uygun olduğu araştırılabilir. Ayrıca mevcut kombinasyonlardan esinlenilerek literatüre yeni yaklaşımlar kazandırılabilir.

#### Kaynaklar

1. Xu R. Optical Particle Counting: Counting and Sizing. Particle Characterization: Light Scattering Methods 2002; 182-222.
2. McTigue NE, Lewis CM, *Fundamentals of Drinking Water Particle Counting*. 2000: American Water Works Association.
3. Chadha GK, vd. An automated method for counting red blood cells using image processing. *Procedia Computer Science* 2020; 167769-778.
4. Çelik A, Tekin E. Hough transform görüntü işleme yöntemiyle ekim makineleri için tohum sayma uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2020; 260-267.
5. Adams T, vd. Automated lung tumor detection and diagnosis in CT Scans using texture feature analysis and SVM in FedCSIS (Communication Papers). 2018.

6. ÖZDET B, Semra İ. Akciğer Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinde Görüntü İşleme Uygulamaları ile Tümörlerinin Tespit Edilmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2022; 27(1):135-150.
7. Telli A, Özkan İ. Görüntü İşleme Teknikleri ile Örne Kumaşlardaki Boncuklanma Direncinin Objektif Ölçümü. Tekstil ve Mühendis 2018; 25(112):313-318.
8. Furkan Ç, Güven A. Dijital Mikroskop Altında Alınan Kan Hücreleri Görüntülerinden Beyaz Kan Hücrelerinin Algılanması ve Sınıflandırılması. Electronic Letters on Science and Engineering 2019; 15(3):23-43.
9. AŞLIYAN R. Otsu ve Rocchio Metotlarıyla Beyin Tümörü Tespiti. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2022; (43):69-74.
10. BOZTOPRAK H, ERGÜN ME. Yapraklı Ağaçlarda Trahe ve Liflerin Belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi 2017; 6(2):87-96.
11. Dihkan M, Karslı F. Kayaç Üzerinde Kristal Dağılımının (CSD) Dijital Görüntü İşleme ile Tespiti in III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu. Kocaeli, Türkiye;2010.
12. Kerimoğlu E. Mikroskobik gölge görüntüleme tabanlı mikroakışkan sitometrisi. Yüksek Lisans. Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2021.
13. Çubukçu A, vd. Görüntü işleme ile 3 eksenli robot mekanizması üzerinde nesne ayırt edilmesi ve sıralanması in Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK'2015. Denizli;2015.
14. Yağmur D, ATALI G. HSL Renk Uzayında Görüntü İşleme ve Morfolojik İşlemler Kullanarak Gerçek Zamanlı Nesne Tespiti ve Sınıflandırması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; (28):607-613.
15. Boztoprak H, Çağlar MF, Merdan M. Alternatif morfolojik bir yöntemle plaka yerini saptama. XII. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi. Eskişehir, Kasım 2007;
16. Soyhan İ, GUREL S, Tekin SA. Yapay Zeka Tabanlı Görüntü İşleme Tekniklerinin İnsansız Hava Araçları Üzerinde Uygulamaları. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; (24):469-473.
17. Atalı G, Özkan S, Karayel D. Morfolojik görüntü işleme tekniği ile yapay sinir ağlarında görüntü tahribat analizi. Akademik Platform Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi 2016; 4(1):
18. Bayram RB. Metal Sektörü İçin Görüntü İşleme Tabanlı Bir Kusurlu Ürün Tespit Sistemi. Yüksek Lisans. Bursa Uludağ Üniversitesi; 2019.
19. KARAKOYUN M. THE COMPARISON OF THE EFFECTS OF THRESHOLDING METHODS ON SEGMENTATION USING THE MOTH FLAME OPTIMIZATION ALGORITHM. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2023; 26(2):517-531.
20. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics 1979; 9(1):62-66.
21. Karakoyun M, Baykan NA, Hacibeyoglu M. Multi-level thresholding for image segmentation with swarm optimization algorithms. International Research Journal of Electronics and Computer Engineering 2017; 3(3):1-6.
22. Kapur JN, Sahoo PK, Wong AK. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram. Computer vision, graphics, and image processing 1985; 29(3):273-285.
23. ALTUNTAŞ C. FİLTRELEME YÖNTEMİ İLE DİJİTAL GÖRÜNTÜ ZENGİNLEŞTİRME VE ÖRNEK BİR YAZILIM. Selcuk University Journal of Engineering Sciences 2011; 10(1):99-107.
24. Zebari NA, TENKEKÇİ E. Skin Lesion Segmentation Using K-means Clustering with Removal Unwanted Regions. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2022; 9(18):519-529.
25. Üncü YA, Sevim G, Canpolat M. Difüz Optik Tomografi Sisteminde Görüntü İşleme Uygulamalarının Test Edilmesi. Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science 2021; 16(1):1-16.
26. KARAKUŞ MÖ, ÖZBAY E. LÖKOSİT TESPİTİ İÇİN BEYAZ KAN HÜCRELERİNİN ESA KULLANILARAK SINIFLANDIRILMASI. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2022; 9(17):333-344.
27. Özcan FT. Ön görüntü işleme ve bölütleme algoritmalarını kullanarak standart tarayıcı ile optik form okuma. Yüksek Lisans. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi; 2022.