

# Retina kan damarlarını çıkarmak için eşikleme temelli morfolojik bir yöntem

Research article simplification

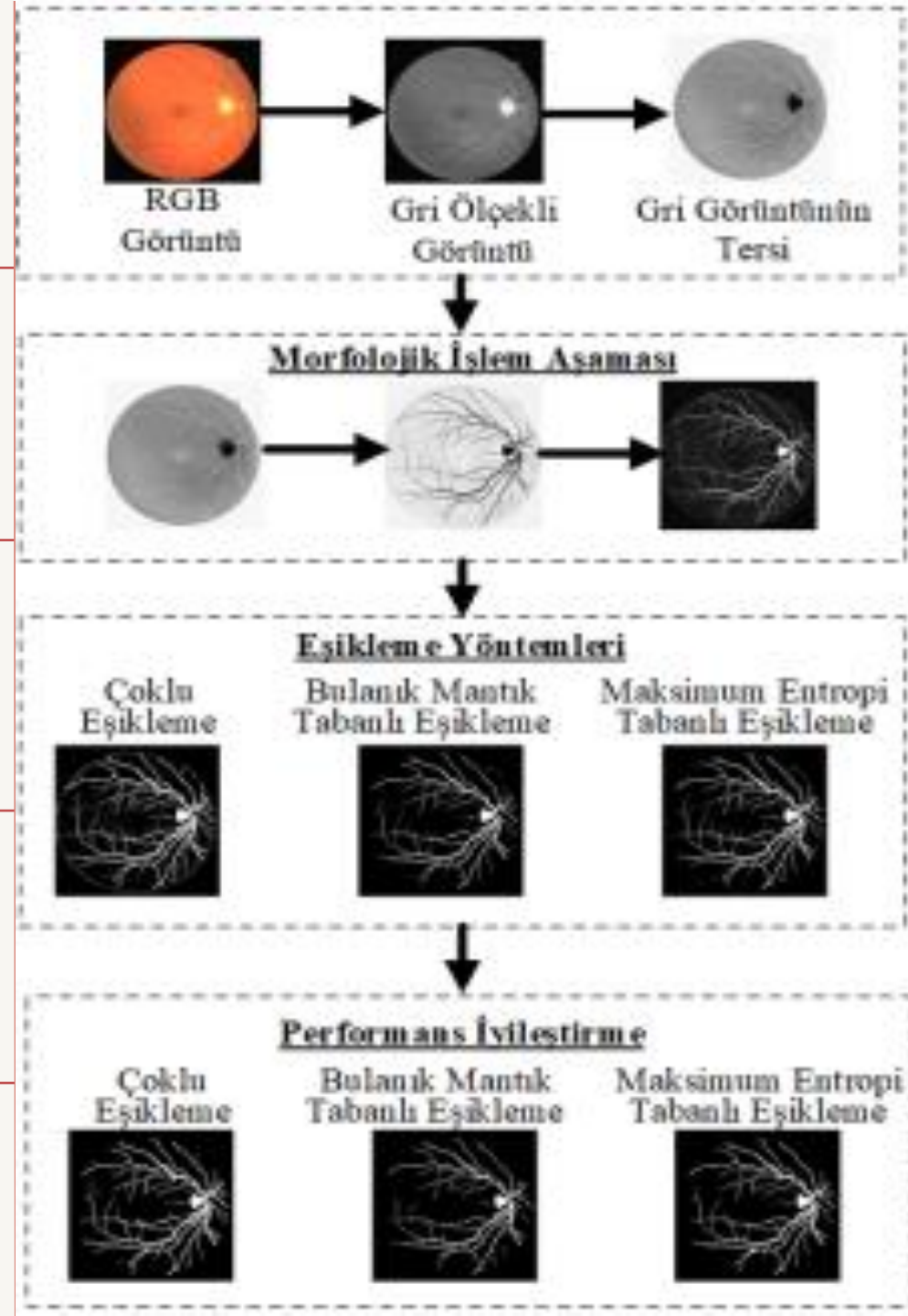
# Preface

Son yıllarda, diyabete bağlı retina hastalığı körlüğün önde gelen nedenlerinden biri haline gelmiştir. Hastalığın önüne geçebilmek için retina ağ yapısının doğru bölütlenmesi gerekir.

Retina ağ yapısının doğru ve hızlı bölütlenmesi için bilgisayar destekli tanı sistemlerine ihtiyaç duyulur. Önerilen çözüm renkli retina fundus görüntüsü üzerinde retina damarlarını otomatik olarak bölütleyen bir yöntemdir. Retina damar ağ yapısını bölütlemek için morfolojik işlemlere dayalı bir yöntem retina görüntüleri üzerine uygulanmıştır.

Morfolojik işlemlerin uygulandığı fundus görüntüsüne üç farklı eşikleme yöntemi uygulanmıştır.

Bu eşikleme yöntemleri; Çoklu Eşikleme, Maksimum Entropi Tabanlı Eşikleme ve Bulanık Kümeleme Tabanlı Eşikleme yöntemleridir. Eşikleme sonucunda bölütlenmiş damar görüntüleri elde edilmiştir.



# Morfolojik İşlemler

- Morfolojik işlemlerin temel amacı, görüntünün temel özelliklerini korumak ve görüntüyü basitleştirmektir. Bu çalışmada, üst-şapka ve alt-şapka dönüşümleri kan damarlarına belirginlik kazandırmak için kullanılır. Üstşapka dönüşümü, bir giriş görüntüsüne morfolojik açma işlemi uygulandıktan sonra uygulama sonucunun orijinal giriş görüntüsünden çıkarılması işlemidir.

$$T_{\text{üst}}(g) = g - (g \circ SE) \quad (1)$$

$$B_{\text{alt}}(g) = (g \bullet SE) - g \quad (2)$$

Denklem (1) 'e göre, açma operatörü görüntünün arka planına etki ettiğinden, üst-şapka dönüşümünün görüntünün arka planını çıkarması beklenir. Bu dönüşüm, yüksek geçirgen bir filtre gibi davranır ve görüntünün maskeden daha küçük olan parlak alanlarını çıkarır.

Denklem (2) 'ye göre, alt-şapka dönüşümü görüntünün arka planını etkiler ve görüntünün arka plandaki maskeden daha küçük olan bazı karanlık alanları üzerinde etkili olur. Parlak alanları (açma operatörünün sonuçları) görüntüye eklemek ve karanlık alanları (kapama operatörünün sonuçları) görüntüden çıkarmak mümkündür. Sonuç olarak, aydınlık ve karanlık alanlar arasındaki kontrastta bir iyileşme olacaktır.

- Retina kan damarları, retina arka planına göre daha koyu görünürler. Ancak, bazı durumlarda kan damarlarının merkez çizgisi bölgesinde parlaklık görünür. Bu görünüm yansımalarından kaynaklanmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için ilk önce morfolojik açma işlemi uygulanır.
- Morfolojik açma işlemi için yarıçapı 21 olan bir disk oluşturulur. Oluşturulan bu disk gri ölçekli görüntünün tersine uygulanarak morfolojik açma işlemi yapılmış olur. Daha sonra uzunluğu 21 olan bir çizgisel yapı elemanı oluşturulur.
- Oluşturulan bu çizgisel yapı elemanı gri ölçekli görüntünün tersine uygulanarak üst-şapka ve alt-şapka dönüşümleri tamamlanmış olur.
- . Denklem (10)'da toplam üst şapka işlemine dahil edilen toplam alt şapka ve toplam morfolojik açma işlemi matematiksel olarak ifade edilmiştir.
- Şekil 4'te bu aşamaya ait işlem sonuçları görsel olarak verilmiştir.



**Şekil 3.** Morfolojik işlemler. Sırası ile morfolojik açma, üst şapka ve alt şapka işlemleri

$$\begin{aligned}
 I_{s_{th}} &= \sum_{\theta \in A} I_{th}^{\theta} \\
 I_{s_{bh}} &= \sum_{\theta \in A} I_{bh}^{\theta} \\
 I_{s_o} &= \sum_{\theta \in A} I_o^{\theta}
 \end{aligned} \tag{10}$$



**Şekil 4.** Morfolojik işlem döngü sonucu. Sırasıyla morfolojik açma, üst-şapka ve alt-şapka sonuçları. (Bkz. Denklem (10))

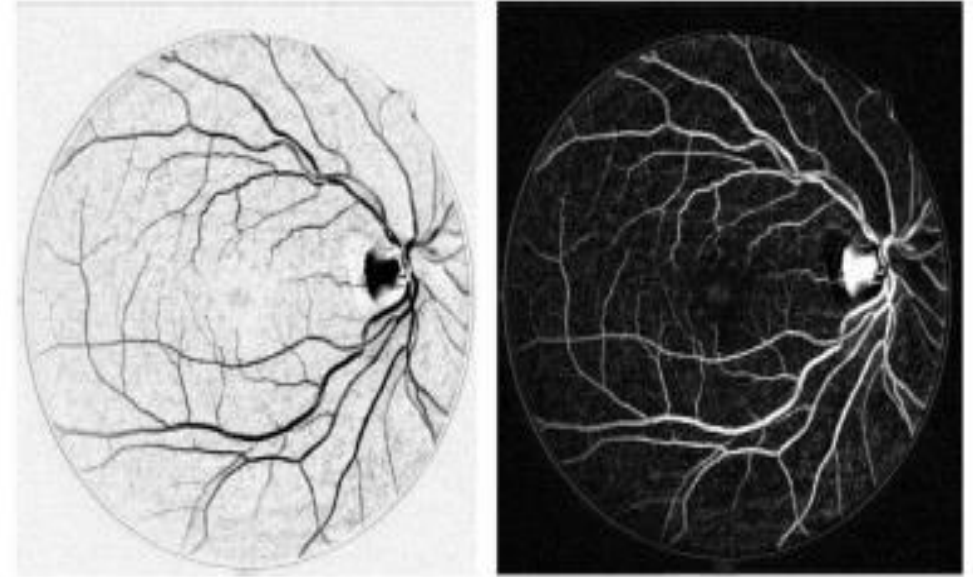


Denklemin (10)' dan elde edilen toplam morfolojik açma, toplam üst şapka ve toplam alt şapka sonuçları Denklem (11)'de ifade edildiği gibi işleme alınmıştır.

Uzunluğu 21 piksel olan ve 22.5°'lik açılarla dönerek her açı için oluşturulan toplam morfolojik açma işlemi toplam üst şapka dönüşümüne eklenmiş ve elde edilen sonuç toplam alt şapka dönüşümünden çıkarılmıştır.

Bu aşamaya ait görsel sonuçlar Şekil 5'de sunulmuştur.

$$I = (I_{s_o} + I_{s_{th}}) - I_{s_{tb}} \quad (11)$$



**Şekil 5.** Önerilen yöntem sonucu. İlk görüntü Denklem (11) sonucu, İkinci görüntü ilk görüntünün tersi alınmış halidir.

# Eşikleme Yöntemleri

Görüntü eşikleme sadeliği ve sağlamlığı nedeni ile en sık kullanılan görüntü bölütleme yöntemlerinden biridir. Eşikleme işlemi, gri ölçekli bir görünün yoğunluk seviyesine göre sınıflara ayrıldığı bir işlemdir. Bu sınıflandırma işlemi için tanımlanmış kurallara uygun bir eşik değeri seçmek gerekir. Bu çalışmada kullanılan eşikleme yöntemleri şöyledir;

## ➤ Çok seviyeli eşikleme

Gri ölçekli görüntüyü birkaç farklı bölgeye ayırabilen bir işlemdir. Bu işleme ait uyulması gereken kural Denklem (3)'de matematiksel olarak ifade edilmiştir.

$$\begin{aligned} C_1 &\leftarrow p \text{ if } 0 \leq p < th \\ C_2 &\leftarrow p \text{ if } th \leq p < L - 1 \end{aligned} \quad (3)$$

Burada, p parametresi L gri tonlama seviyeleri  $L = \{0, 1, 2, \dots, L - 1\}$  ile temsil edilebilen gri tonlama görüntüsünün piksellerinden biridir. C1 ve C2 parametreleri, p pikselinin atanacağı sınıflardır, th parametresi ise eşik değeridir.

## ➤ Maksimum entropi tabanlı eşikleme

Entropi yöntemlerine bağlı eşikleme işlemi araştırmacılar tarafından tercih edilen bir yöntemdir. Otsu'nun eşikleme algoritmasından farklı olarak sınıflar arasındaki varyansı maksimize etmek ya da sınıf içi varyansı minimize etmek yerine sınıflar arası entropi maksimize edilir.

Bir görüntüdeki yoğunluk değerlerinin olasılık dağılımına katkı veren ön ve arka plan görüntüsüne ait entropi değerleri ayrı ayrı hesaplanır ve toplamaları maksimize edilir. Ardından, entropinin toplamını maksimize eden bir optimum eşik değeri hesaplanır. Arka ve ön plan görüntüsüne ait entropi değeri Denklem (4) ve Denklem (5)'de verilmiştir. Denklem (6) arka ve ön plan görüntüsüne ait entropi değerlerinin maksimize edilmiş halidir.

$$H_b(t) = - \sum_{i=0}^t \frac{P_i}{P_t} \log_e \left( \frac{P_i}{P_t} \right) \quad (4)$$

$$H_w(t) = - \sum_{i=t+1}^{L-1} \frac{P_i}{1 - P_t} \log_e \left( \frac{P_i}{1 - P_t} \right) \quad (5)$$

$$t^* = \underset{t \in G}{\text{ArgMax}} \{ H_b(t) + H_w(t) \} \quad (6)$$

Denklemlerde,  $t$  eşik değerini temsil eder,  $P_t$  parametresi  $\sum_{i=0}^t P_i$  olarak hesaplanır.  $P_i$  parametresi görüntüdeki  $i$  gri düzeyinin olasılığıdır.

## ➤ Bulanık mantık tabanlı eşikleme

Bulanık kümeleme bir yumuşak kümeleme tekniğidir. Bu kümeleme yöntemi, nesnelerin kümelere olan aitliğini ifade etmek için bir derece kavramı kullanır. Her nesne için, toplam derece 1'dir. Denklem (7) her pikselin üyelik değerini hesaplamak için kullanılır.

$$u_{i,j} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left[ \frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right]^{\frac{2}{m-1}}} \quad (7)$$

$u_{ij}$  parametresi üyelik fonksiyonunu,  $x_i$  parametresi bireysel piksel değerini,  $c_j$  ve  $c_k$  parametreleri küme merkezini ve  $m$  parametresi 1'den fazla gerçek değeri temsil etmektedir. Bölütleme görüntülerini ikili görüntülere dönüştürmek için kullanılacak eşik hesaplaması Denklem (8) ve Denklem (9) da verildiği gibidir.

$$\text{Seviye 0} = \frac{\max(I(c1 == 1)) + \min(I(c2 == 2))}{2} \quad (8)$$

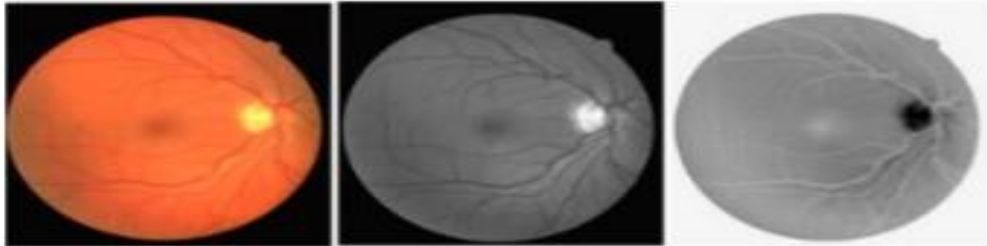
$$\text{Seviye 1} = \frac{\max(I(c2 == 1)) + \min(I(c3 == 3))}{2} \quad (9)$$

Burada,  $c$  parametresi sınıfı,  $I$  parametresi görüntüyü ve Seviye parametresi denklemden gelen eşik değeridir.

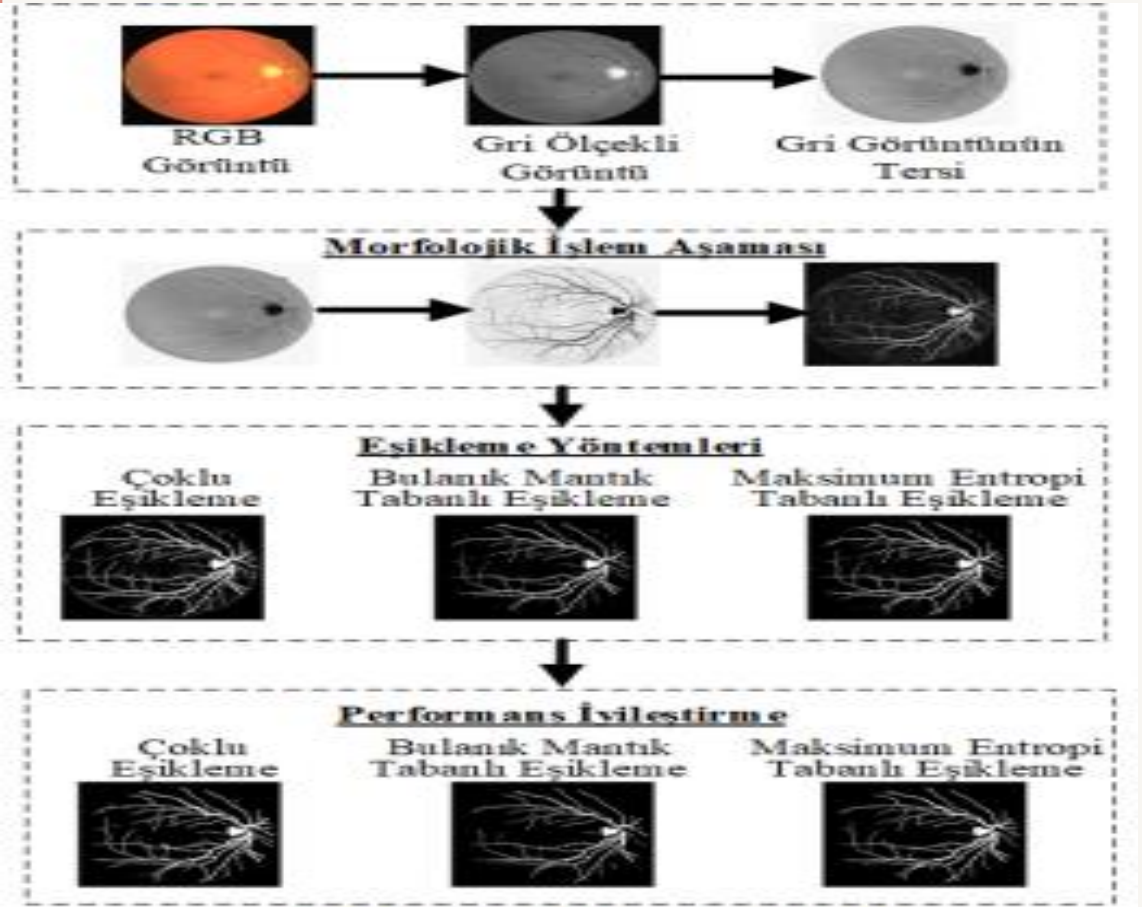


# Kullanılan yöntem

- Önerilen yöntemde, veri setinde bulunan fundus görüntülerine ait damarların bölütlenmesi sağlanmıştır. Öncelikle, veri setinde bulunan görüntüler RGB renk uzayından gri ölçekli görüntülere dönüştürülür. Gri ölçekli görüntülerin tersi üzerinde önerilen sistem uygulanır. Şekil 1’de veri setine ait bir görüntü ve bu görüntüye ait gri ölçekli görüntü ile gri ölçekli görüntünün tersi verilmiştir.



Şekil 1. Örnek veri seti görüntüsü, Sırasıyla, orijinal RGB görüntü, Gri-Ölçekli görüntü, Gri-Ölçekli görüntünün tersi

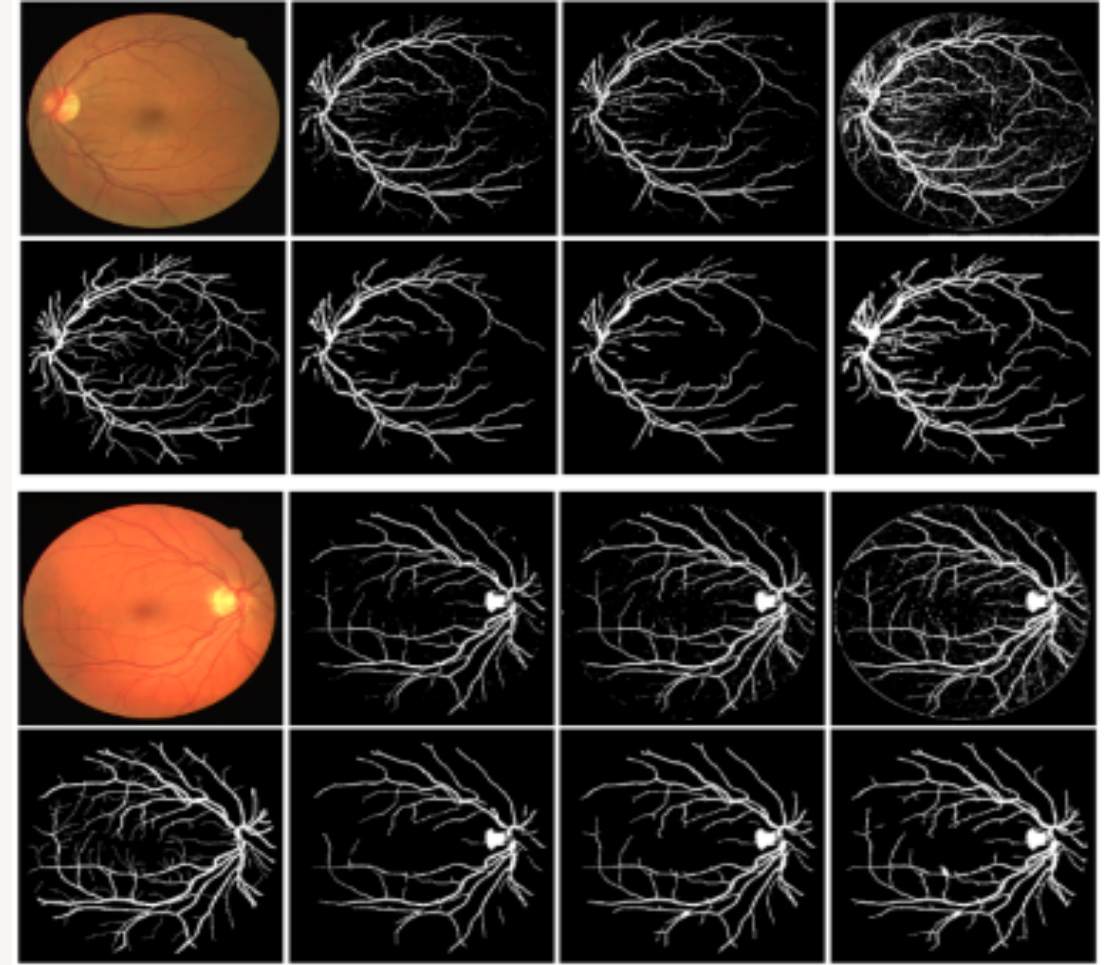


Şekil 2. Akış şeması

Önerilen sistemin genel yapısı ise Şekil 2’de verildiği gibidir.

# Bölütleme sonuçları

- Üç farklı eşikleme algoritması iyileştirilmiş fundus görüntüleri üzerinde uygulanarak damar piksellerinin bölütlenmesi sağlanmıştır. İyileştirilmiş görüntüler eşikleme işlemine tabi tutulduktan sonra çıktı görüntüleri üzerinde performans iyileştirilmesi yapılmıştır.
- Performans iyileştirme yönteminde damara ait olmayan damar benzeri görüntüler morfolojik işlemler kullanılarak yok edilmiştir. Bu aşama bağlı bileşen analizi kullanılarak önce küçük nesneler silinmiş daha sonrada damardan kopuk küçük boşluklar doldurulmuştur.
- Şekil 6'da eşikleme algoritmalarının performans iyileştirme sonuçları görsel olarak sunulmuştur.



**Şekil 6. Performans İyileştirme Sonuçları.** Birinci satırlar eşikleme sonuçlarını, ikinci satırlar iyileştirme sonuçlarını göstermektedir. Orijinal görüntünün altındaki görüntüler 1.manuel bölütlenmiş gerçek zemin görüntüleridir.

- Uygulanan yöntemin başarı ölçütünü hesaplamak için Doğruluk Oranı ölçüsü kullanılmıştır. Denklem (12)'de Doğruluk Oranı ölçütünün matematiksel ifadesi verilmiştir.

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (12)$$

## Veri Seti

Önerilen yöntem diğer yöntemlerle kıyaslanabilir olması açısından halka açık olarak sunulan DRIVE veri seti üzerinde test edilmiştir. DRIVE veri setindeki görüntüler 45° görüş alanında Canon 3CCD ile çekilmiştir. Görüntülerin her biri 565 × 584 piksel boyutunda 20 eğitim ve 20 test görüntüsünden oluşmaktadır. Veri setindeki damar pikselleri, deneyimli bir göz doktoru tarafından eğitilmiş üç gözlemci tarafından manuel olarak bölümlere ayrılmıştır. Test seti iki farklı gözlemci tarafından iki kez bölütlendirilmiş görüntülerden oluşur.

# Sonuçlar

Bu makalede, paylaşımına açık olarak sunulan DRIVE veri seti üzerinde morfolojik işlemlere dayalı bir damar iyileştirme yöntemi kullanılmıştır. Damar iyileştirme aşamasından sonra Çoklu Eşikleme, Bulanık Mantık Tabanlı Eşikleme ve Maksimum Eşikleme yöntemleri kullanılarak damar bölütlemesi yapılmıştır. Bu yöntem temelde morfolojik işlemlere dayanmış olsa da asıl amaç eşikleme algoritmalarının yöntem üzerindeki performanslarının karşılaştırılmasıdır.

Eşikleme yöntemleri, doğası ne olursa olsun tüm veriler üzerinde kullanılabilir. Ancak, farklı eşikleme yöntemlerinin aynı iyileştirilmiş görüntü üzerinde farklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu makalede, Bulanık Mantık Tabanlı Eşikleme yönteminin ortalama doğruluk oranı 0.952 olarak hesaplanmış ve diğer iki eşikleme yönteminden daha yüksek bir değere sahip olmuştur. Bu makalede elde edilen deneysel sonuçlar tatmin edici bir seviyededir. Önerilen yöntem geliştirilmeye açıktır. Halka açık bir veri seti kullanıldığı için karşılaştırması ve doğruluğu test edilebilir durumdadır.



# Görüntü işleme teknikleri ve kümeleme yöntemleri kullanılarak fındık meyvesinin tespit ve sınıflandırılması

Research article simplification

# Preface

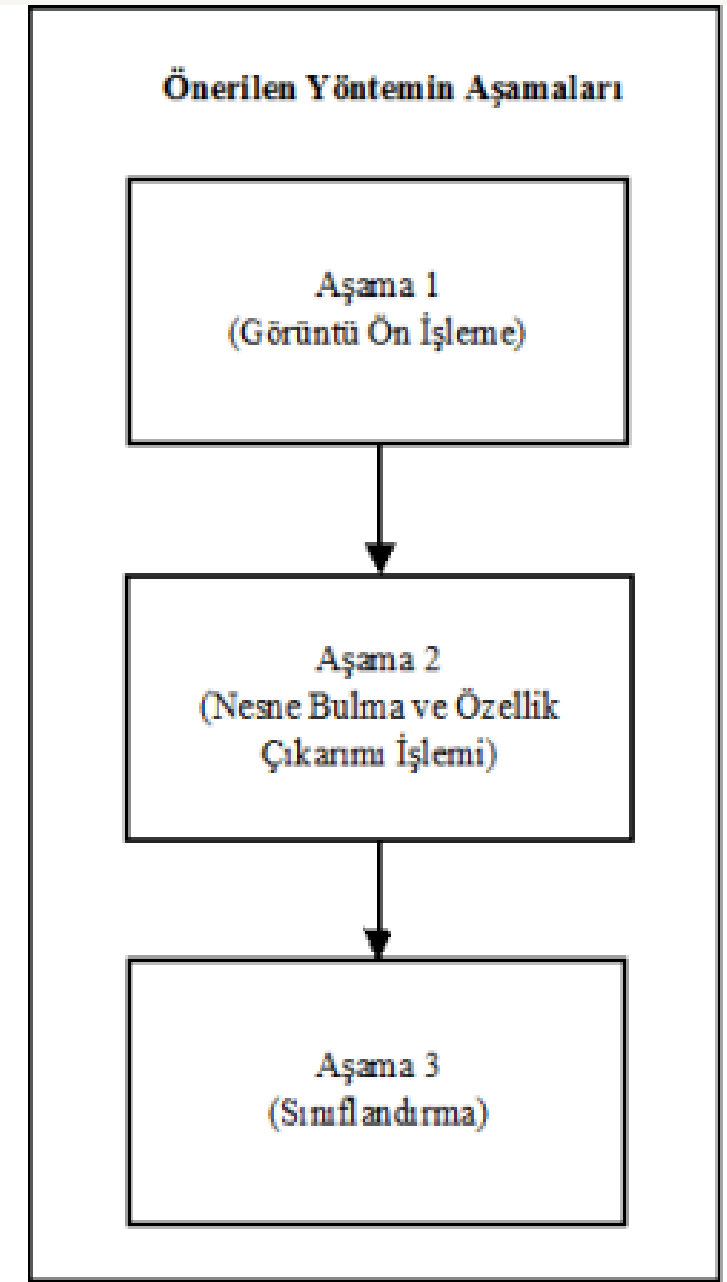
Yapılan çalışmada, ortamda bulunan nesnelerin gerçek zamanlı olarak tespit edilmesi, sınıflandırılması ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Önerilen yönteme ait deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesinde fındık meyvesi kullanılmaktadır. Çalışma ortamında bulunan fındıklara ait görüntü, kamera ile alındıktan sonra görüntü işleme teknikleri kullanılarak işlenmektedir. Fındıkların görüntü düzlemi üzerinde kapladıkları boyut ve alan verileri hesaplanmaktadır. Elde edilen veriler değerlendirilerek, fındıklar gerçek zamanlı olarak küçük (K1), orta (K2) ve büyük (K3) olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır.

Bu işlem ortalama tabanlı sınıflandırma ve K-means kümeleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Küme merkezlerinin belirlenmesi ve sınıflandırma işlemi fındık meyvesi verilerinden elde edilen bilgi veritabanı kullanılarak sağlanmaktadır. Çalışma ortamında bulunan fındık meyveleri, görüntü işleme teknikleri kullanılarak %100 başarımla tespit edilmektedir. Fındık meyvelerinin, ortalama tabanlı ve K-means kümeleme yöntemleri kullanılarak sınıflandırılması karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucunda, gerçekleştirilen iki yöntemin %90 ile %100 oranında benzerlik gösterdiği bulunmaktadır.



# ÖNERİLEN YÖNTEM (PROPOSED METHOD)

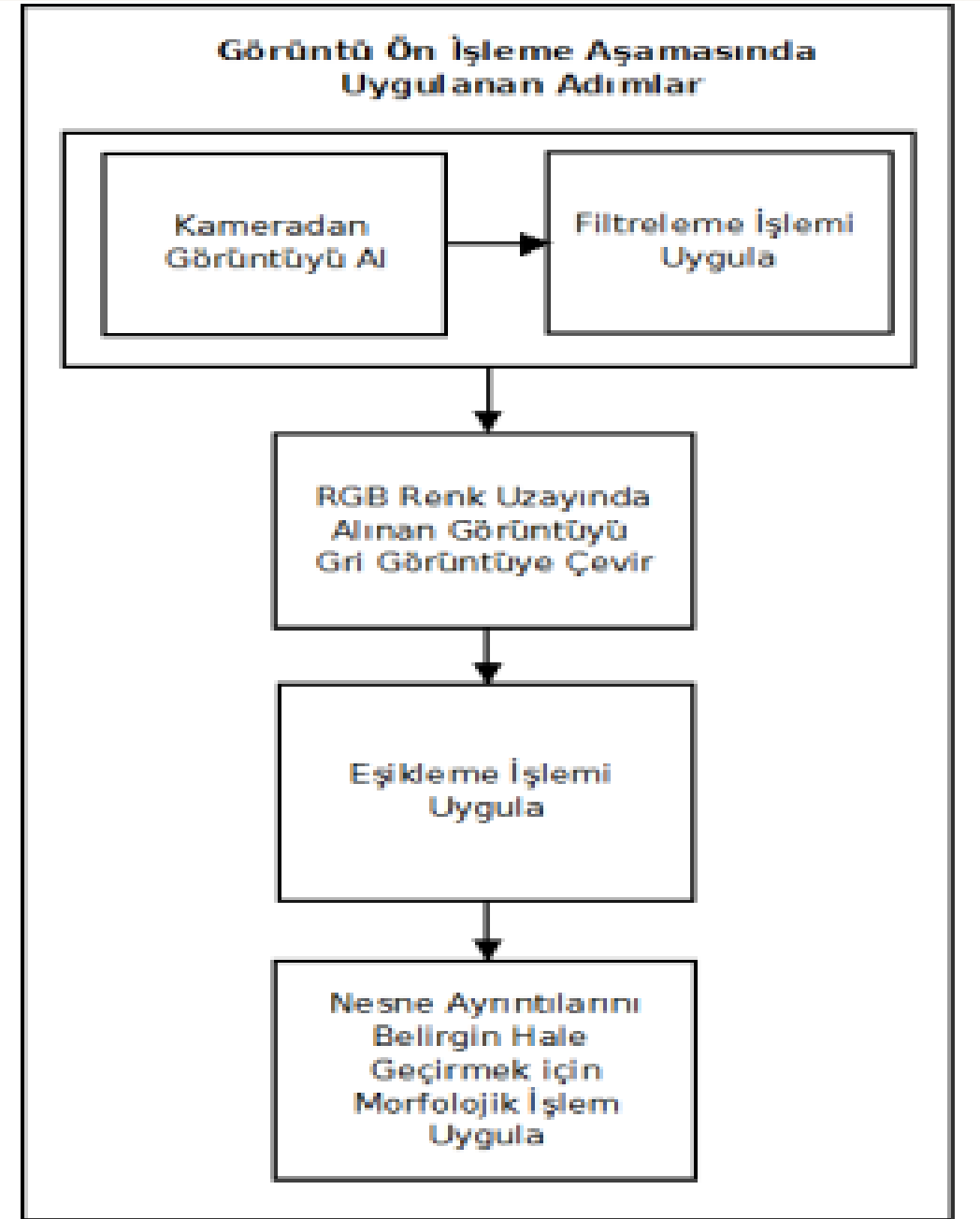
- Ortamda bulunan aynı nesnelerin tespit edilerek, sınıflandırılmasına yönelik yapılan çalışmada üç aşamalı bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yönteme ait aşamalar Şekil 1'de sunulmaktadır.
- Nesnelerin bulunduğu ortamdan alınan görüntü, aşama 1 adımında yer alan "Görüntü Ön İşleme" işlemine tabi tutulmaktadır. Aşama 2'de "Nesne Bulma ve Özellik Çıkarımı İşlemi" ile ortamdaki nesnelerin, boyut ve alan gibi özellikleri çıkartılmaktadır. Son aşamada ise, aşama 2'de elde edilen veriler kullanılarak her bir nesnenin sınıflandırılması gerçekleştirilmektedir



Şekil 1. Önerilen yöntemin aşamaları (The stages of proposed method)

# Görüntü ön işleme aşaması (Image preprocessing)

- Filtre uygulama adımında, görüntü üzerinde yer alan tuz biber gürültülerinin giderilmesi ve resimde yer alan gereksiz ayrıntıların azaltılması sağlanmaktadır. Kameradan alınan görüntü matrisi üzerinde, 3x3, 5x5 vb küçük bir çekirdek matrisinin gezdirilmesi sonucunda filtreleme işlemi gerçekleşmektedir.
- Çalışmada, 3x3 boyutlarında çekirdek matrisi kullanan, ortalama filtreleme yöntemi kullanılmaktadır. Çekirdek matrisin boyutlarının büyük seçilmesi, görüntü üzerindeki gürültüleri azaltırken, bulanıklaştırmada yapmaktadır. Çalışmada ortalama filtre uygulaması için seçilen çekirdek matris, denklem 1'de sunulmaktadır. Çekirdek matrisi, görüntü üzerinde kayan pencere yöntemi kullanılarak gezdirilmekte ve her bir piksel için, yeni değerler hesaplanmaktadır.



Şekil 2. Görüntü ön işleme aşamasında uygulanan adımlar  
(The steps of image pre-processing stage)

$$K = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

K, NxN boyutlarında filtreleme için kullanılan çekirdek matrisini, IR, kameradan alınan renkli görüntüye ait matrisi,  $|R|$ , filtreleme sonunda oluşan yeni görüntü matrisini ifade etmektedir. Denklem 2’de her piksele ait yeni değerlerin hesaplanmasını gösteren formül sunulmaktadır.

$$temp = \frac{N}{2}$$

$$I_R(x, y) = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N K(i, j) \times I_R(x + i - temp, y + j - temp) \quad (2)$$

Filtreleme işlemi sırasında, IR matrisinde negatif değerler kullanılmak istenmektedir. Bu durumda, ilgili indislere en yakın indisteki değer kullanılmaktadır. Örneğin, hesaplama sırasında  $|R|(0,0)$  için  $K(0,0) \times IR(-1,-1)$  ile çarpılması sırasında matris içerisindeki en yakın değer olan  $IR(0,0)$  kullanılmaktadır. Kameradan alınan görüntü üç kanallı olup RGB (Red, Green, Blue) renk uzayında alındığından, IR görüntü matrisinde üç renk için bulunan değerler denklem 2 kullanılarak güncellenmektedir.

$$I_G(x, y) = 0.299 \times I_{RK}(x, y) + 0.587 \times I_{RY}(x, y) + 0.114 \times I_{RM}(x, y) \quad (3)$$

Filtreleme işleminden sonra renkli görüntünün, grileştirilmesi adımı gerçekleştirilmektedir. Grileştirme işlemine ait formül denklem 3’te sunulmaktadır. Denklemden, IG grileştirilmiş yeni görüntü matrisini,  $|RK|$ ,  $|RY|$  ve  $|RM|$  sırasıyla filtrelenmiş renkli görüntüdeki kırmızı, yeşil ve mavi renk değerini ifade etmektedir [19,20].

Gri olarak elde edilen görüntü üzerinde, eşikleme işlemi uygulanarak sadece ilgili nesnelere ait yer alan bölümler kullanılmaktadır. Eşikleme işleminde kullanılan en küçük (min) ve en büyük değerler (max) deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmektedir. Gri görüntü içerisinde yer alan piksel değerleri min ve max değerleri arasında bulunup bulunmadığı karşılaştırılarak, ikili görüntü için yeni değer ataması gerçekleştirilmektedir. Denklem 4'te ikili görüntü oluşturma işlemine ait formül sunulmaktadır.

$$I_1(x, y) = \begin{cases} 255 & \leftarrow (I_0(x, y) \geq \min) \text{ ve } (I_0(x, y) < \max) \\ 0 & \leftarrow \text{Uymayan Veriler} \end{cases} \quad (4)$$

Eşikleme işleminden sonra siyah ve beyaz renkleri içeren görüntü oluşturulmaktadır. Görüntü içerisinde, siyah bölgelerde istenmeyen beyaz noktalar, beyaz bölgelerde istenmeyen siyah noktalar bulunmaktadır. Elde edilen ikili görüntü üzerinde yer alan gürültüleri silmek amacıyla morfolojik işlem uygulanmaktadır. Morfolojik işlemde, girdi olarak verilmekte olan, ikili görüntü üzerinde yapısal element adı verilen 3x3, 5x5 vb. kare matris gezdirilmektedir.

Morfolojik işlem adımında, yapısal element ve ikili görüntü değerlerindeki komşu piksel değerleri kullanılarak görüntü güncellenmektedir. Önerilen çalışmada, ikili görüntü üzerinde, aşındırma (erosion) ve genişleme (dilation) morfolojik işlemleri uygulanmaktadır.

Aşındırma işlemi, ikili resim üzerinde yer alan beyaz alanları daraltmak ve siyah bölgelerdeki beyazlıkları temizlemek için kullanılmaktadır. Genişleme işlemi ise, beyaz alanların sınırlarını genişletirken aynı zamanda beyaz bölgede yer alan siyah noktaları temizlemektedir.

Sırasıyla denklem 5 ve denklem 6 'da aşındırma, genişleme işlemlerine ait matematiksel ifadeler sunulmaktadır. Denklemlerde,  $Y$  yapısal elemente ait matrisi,  $I_M$  aşındırma işlemi uygulanmış ikili görüntü matrisini,  $I_M$  aşındırma işleminden sonra genişleme işlemi uygulanmış ikili görüntü matrisini ifade etmektedir [21].

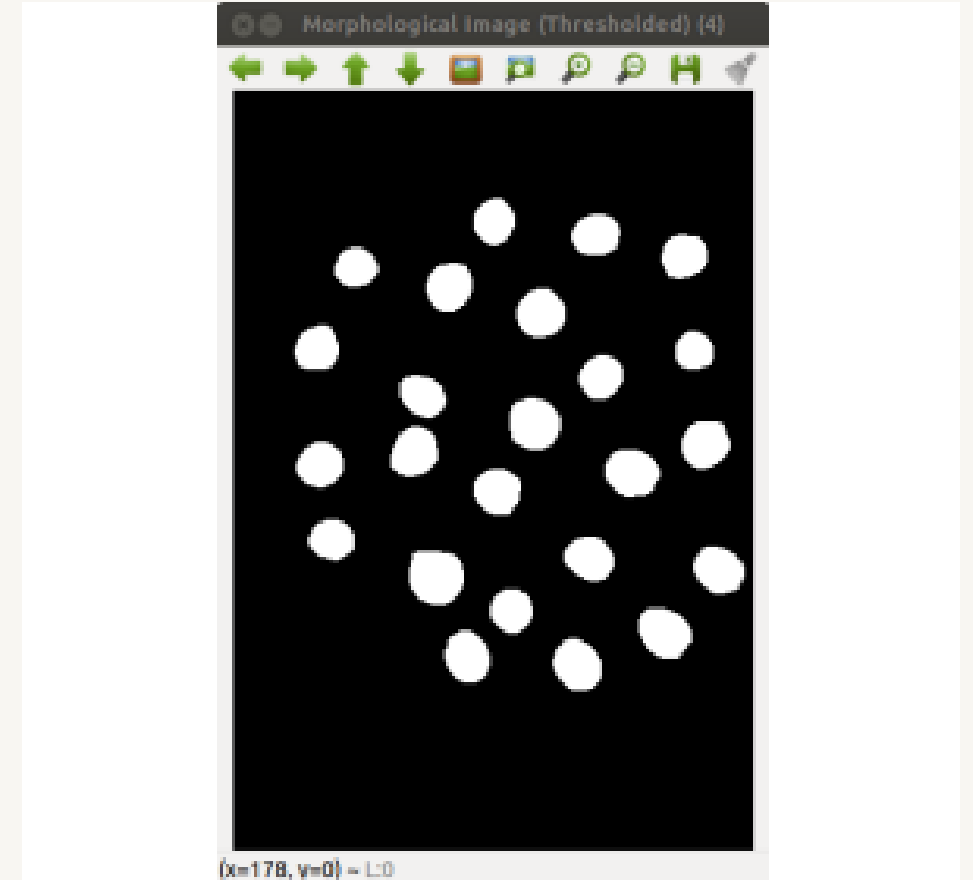
$$I_M(x, y) = \bigcap_{i=0}^{N-1} \bigcap_{j=0}^{N-1} Y(i, j) \cup I_I(x + i, y + j) \quad (5)$$

$$I_M^I(x, y) = \bigcup_{i=0}^{N-1} \bigcup_{j=0}^{N-1} Y(i, j) \cap I_M(x - i, y - j) \quad (6)$$

- Şekil 3'de kameradan alınan ham görüntü gösterilmektedir. Şekil 4'te ise, filtreleme, grileştirme, eşikleme ve morfolojik işlemlerin kameradan alınan ham görüntüye uygulanması sonucunda oluşan görüntü sunulmaktadır. Elde edilen görüntü ile ortam da bulunan nesnelere ait kenarların belirlenmekte ve özellik çıkarımı için hazır duruma getirilmektedir.



Şekil 3. Görüntü ön işleme aşaması kamera görüntüsü  
(Image pre-processing camera image)



Şekil 4: Görüntü ön işleme adımından sonra oluşan görüntü  
(Image after pre-processing step.)



# Nesne bulma ve özellik çıkarımı işlemi aşaması (Object detection and feature extraction stage)

Nesne bulma ve özellik çıkarımı işlemi aşamasında, görüntü ön işleme aşamasından geçirilerek elde edilen ikili görüntü üzerinde nesnelerin bulunması ve her bir nesneye ait özelliklerin çıkarımı işlemleri gerçekleştirilmektedir. Nesnelerin görüntü düzleminde kaplamış olduğu alan, nesne boyları ve nesne merkezine ait koordinatlar özellik çıkarım vektörlerinde bulunmaktadır.

Her bir nesneye ait dış hatlar ve nesne numaraları belirlendikten sonra, nesnenin alanını hesaplamak için moment alma işlemi gerçekleştirilmektedir. Denklem 7'de moment alma işlemini gösteren genel formül sunulmaktadır [21]. Denklem 7'de  $G(x,y)$ , momenti alınacak ikili görüntüyü,  $m_{pq}$  momenti,  $p$  ve  $q$  değerleri ise, momentin derecesini belirlemektedir. Denklemde yer alan  $x$  ve  $y$  değerleri, görüntüyü oluşturan matristeki satır ve sütunları ifade etmektedir.

$$m_{pq} = \int \int_{x \ y} x^p y^q G(x, y) dx dy \quad (7)$$

Denklem 7'de  $p$  ve  $q$  değerleri 0 olması durumunda,  $m_{00}$  değeri nesnenin piksel cinsinden alanını ifade etmektedir. Ayrıca, sırasıyla  $p$  ve  $q$  değerlerine 1 değerleri verilerek  $m_{10}$  ve  $m_{01}$  değerleri hesaplanmıştır.

Denklem 8, 9 ve 10 da gerçekleştirilen işlemlere ait matematiksel ifadeler sunulmaktadır [21].

$$\mathbf{p} = 0 \text{ ve } \mathbf{q} = 0 \rightarrow \mathbf{m}_{00} = \int \int_{x \ y} G(x, y) dx dy \quad (8)$$

$$\mathbf{p} = 1 \text{ ve } \mathbf{q} = 0 \rightarrow \mathbf{m}_{10} = \int \int_{x \ y} x G(x, y) dx dy \quad (9)$$

$$\mathbf{p} = 0 \text{ ve } \mathbf{q} = 1 \rightarrow \mathbf{m}_{01} = \int \int_{x \ y} y G(x, y) dx dy \quad (10)$$

İkili görüntü üzerinde yer alan herhangi bir nesneye ait alan değeri denklem 8, x ağırlıklı moment denklem 9 ve y ağırlıklı moment denklem 10 ile hesaplanmaktadır. Bu durumda, ilgili nesnelere ait merkez noktasının x koordinatı denklem 11, merkez noktasına ait y noktasının koordinatı denklem 12'de verilen formüller kullanılarak bulunmaktadır.

Ortamda yer alan nesnelere ait alan ve boyut bilgilerinin cm veya mm cinsinden hesaplanabilmesi amacıyla, A4 kağıdının köşesine 50mm x 50mm boyutlarında referans bir kare çizilmiştir. Referans karesinin alanı piksel cinsinden hesaplanarak, gerçek alana oranlanmaktadır. Bu sayede piksel / mm dönüşüm işlemi program tarafından otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.

$$x = \frac{m_{10}}{m_{00}} \Rightarrow x = \frac{\int \int_{x \ y} x G(x, y) dx dy}{\int \int_{x \ y} G(x, y) dx dy} \quad (11)$$

$$y = \frac{m_{01}}{m_{00}} \Rightarrow y = \frac{\int \int_{x \ y} y G(x, y) dx dy}{\int \int_{x \ y} G(x, y) dx dy} \quad (12)$$

# Sınıflandırma işlemi aşamasına ait adımlar(Classification stage steps)

- Kümeleme, fiziksel veya soyut nesneleri benzer nesne sınıfları içerisinde gruptama sürecidir [23]. Veri kümeleme, küme analizi olarak da tanımlanmaktadır. Kümeleme analizinde desen, nokta veya nesnelerin doğal olarak gruplandırılması yapılmaktadır. Kümeleme analizi ile çok değişkenli özellikler içeren veriler kümelenendirilebilmektedir.
- Kümeleme yöntemi örüntü tanıma, veri analizi, görüntü işleme, market araştırmaları, vb. gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Önerilen çalışmada ortamda bulunan nesneler, alan, çap, yarıçap, genişlik, yükseklik vb. özellikleri kullanılarak sınıflandırılmaktadır. Yapılan çalışmada, görüntü işleme teknikleri kullanılarak bulunan nesnelerin sınıflandırma işleminde iki farklı kümeleme yöntemi önerilmektedir.

# Ortalama tabanlı sınıflandırma (Meanbased classification)

- Önerilen ilk yöntemde ortamda bulunan nesneler kendi aralarında otomatik olarak 3 sınıfa ayrıştırılmaktadır. Sınıflandırma işleminde oluşturulan ilk küme merkezi hesaplanırken denklem 13'te sunulan formül kullanılmaktadır. Denklemde  $K_2$ , ortanca (ikinci) küme merkezini,  $N$  ortamda bulunan nesne sayısını,  $A_x$  ( $m_{00}$ )  $x$  indisli nesnenin alanını ifade etmektedir.

$$K_2 = \frac{1}{N} \sum_{x=1}^N A_{an_x} \quad (13)$$

- Diğer iki küme merkezi hesaplanırken ilk olarak en büyük (maksAlan) ve en küçük (minAlan) alan hesaplanmaktadır.  $K_1$  ve  $K_3$  küme merkezlerinin hesaplanmasını gösteren ifadeler, denklem 14 ve denklem 15'te sunulmaktadır.

$$K_1 = \frac{K_2 + 3 \times \min Alan}{4} \quad (14)$$

$$K_3 = \frac{K_2 + 3 \times \max Alan}{4} \quad (15)$$

- Nesneleri sınıflandırma aşamasında, ilgili nesnenin alanı ile her bir küme merkezi arasındaki mesafe hesaplanmaktadır. Nesneler kendilerine en yakın noktada bulunan küme merkezlerine yerleştirilerek sınıflandırılmaktadır.

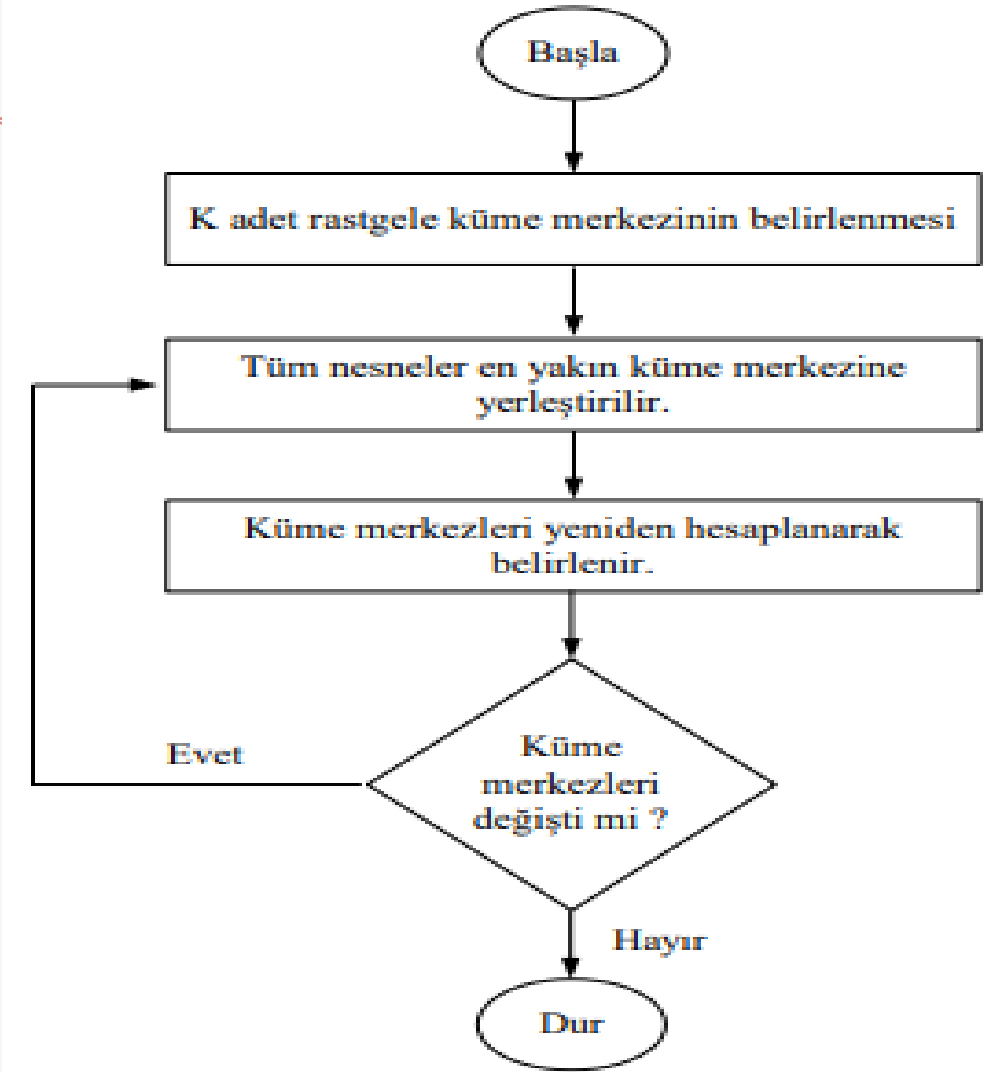
# K-means kümeleme yöntemi (K-means clustering method)

K-means algoritması,  $N$  adet veri nesnesinin  $K$  adet kümeye bölünmesidir. K-means kümeleme, karesel hatayı en aza indirmek için  $N$  tane veriyi  $K$  adet kümeye bölümlenmeyi amaçlamaktadır [18, 24]. K-means algoritmasının temel amacı bölümlenme sonucunda elde edilen küme içindeki verilerin benzerliklerinin maksimum, kümeler arasındaki benzerliklerin ise minimum olmasıdır. K-means algoritmasının çalışma sürecini maddeler halinde sunulan 4 aşamada ifade edilmektedir.

- **1. İlk olarak,  $K$  adet küme için rastgele başlangıç küme merkezleri belirlenmektedir,**
- **2. Her nesnenin seçilmiş olan küme merkez noktalarına olan uzaklığı hesaplanmaktadır. Küme merkez noktalarına olan uzaklıklarına göre tüm nesneler  $k$  adet kümeden en yakın olan kümeye yerleştirilmektedir,**
- **3. Yeni oluşan kümelerin merkez noktaları, o kümedeki tüm nesnelerin ortalama değerlerinden elde edilmiş veriye göre değiştirilmektedir,**
- **4. Küme merkez noktaları sabit olmadığı sürece 2. ve 3. adımlar tekrarlanmaktadır.**

Kümeleme işlemi nesnelerin birbirleri ile olan benzerlik veya benzemezliklerine göre gerçekleştirilmektedir. Benzerlik ve benzemezlik ölçümlerinde en yaygın olarak kullanılan mesafe ölçüm yöntemleri Euclidean, Manhattan ve Minkowski yöntemleridir. Euclidean, Manhattan ve Minkowski mesafelerinin hesaplanması Denklem 16, 17 ve 18'de sırası ile gösterilmektedir[25].

Bu çalışmada nesneleri kümeleme işlemi aşamasında benzerliklerinden yararlanılmıştır. Nesnelerin küme merkezlerine uzaklıklarının hesaplanmasında ve kümeleme işleminin gerçekleştirilmesinde Denklem 16'da gösterilmekte olan Euclidean mesafe ölçümü kullanılmaktadır.



$$d(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (16)$$

$$d(p, q) = |p_1 - q_1| + |p_2 - q_2| + \dots + |p_n - q_n| = \sum_{i=1}^n |p_i - q_i| \quad (17)$$

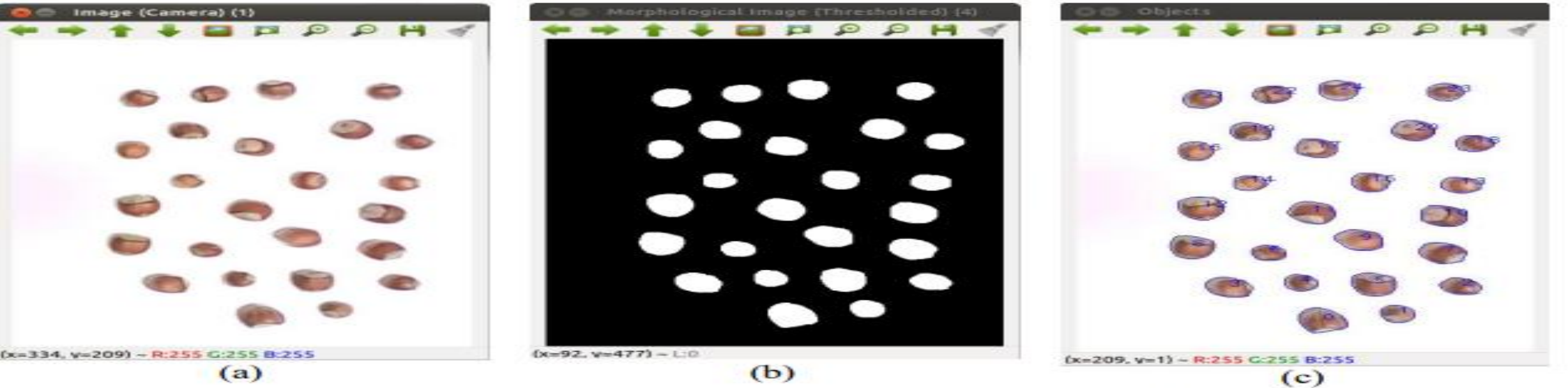
$$d(p, q) = \sqrt{|p_1 - q_1|' + |p_2 - q_2|' + \dots + |p_n - q_n|'} = \sqrt{\sum_{i=1}^n |p_i - q_i|'} \quad (18)$$



- Görüntü ön işleme, nesne bulma ve özellik çıkartımı ile elde edilmiş olan nesnelerin, piksel olarak hesaplanmış olan alan verileri kullanılarak bilgi veritabanı oluşturulmaktadır. Bilgi veritabanında toplanmış olan veriler K-means kümeleme yöntemi kullanılarak 3 kümeye ayrılmakta ve bu kümelerin merkez noktaları belirlenmektedir.
- Çalışmaya yeni bir veri seti eklendiğinde gerçek zamanlı olarak, eklenen veri setindeki nesnelerin alanları piksel cinsinden hesaplanmaktadır. Hesaplanan nesne alanlarının, küme merkezlerine uzaklığı Euclidean yöntemi kullanılarak bulunmaktadır. Hesaplanan Euclidean uzaklıkları arasında en düşük olan değer hangi kümeye aitse, nesne o kümeye yerleştirilmektedir.

# DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

- Önerilen yöntem ile ortamda bulunan fındıkların tespit edilerek kümelenmesine yönelik deneysel çalışma yapılmaktadır. Çalışmada 1.3 Megapiksel CMOS, 640 x 480 çözünürlükteki Logitech C110 USB kamera kullanılarak görüntüler alınmaktadır. Alınan görüntüler, Ubuntu 12.04 işletim sistemine sahip bir bilgisayar üzerinde işlenmektedir. Görüntülerin işlenmesi ve sınıflandırılması aşamalarında OpenCV Kütüphanesi ve Weka yazılımları kullanılmaktadır. Şekil 6'da deneysel çalışmadan alınan örnek bir görüntü sunulmaktadır. Şekil 6 (a)'da kameradan alınan görüntüye ait ilgilenilen kısım sunulmaktadır. Kameradan alınan ham görüntüde, çalışma alanı dışında kalan dörtgenin bulunduğu alan kesilmiştir.



Şekil 6: Deneysel çalışmadan alınan örnek görüntü, (a) Kameradan alınan görüntü, (b) Ön işleme aşamasından sonra elde edilen görüntü, (c) Nesne bulma ve özellik çıkarım işleminde elde edilen görüntü. (Image pre-processing stage (a) Camera image, (b) Image after pre-processing step, (c) Object detection and feature extraction image)

- Bu işlemden sonra görüntü ön işleme aşamasına geçilmektedir. Görüntü ön işleme aşamasında, resim üzerinde filtreleme, grileştirme, eşikleştirme ve morfolojik işlem uygulanmaktadır. Bu işlem basamakları sonucunda elde edilen görüntü Şekil 6 (b)'de sunulmaktadır. Bu görüntü nesne bulma ve özellik belirleme aşamasına girdi olarak verilmektedir. Ortamda bulunan ve ilgilenilen nesnelerin dış hatları belirlenmektedir. Çalışmada kullanılacak alan, çap, yarıçap ve merkez noktasına ait koordinatlar elde edilmektedir. Şekil 6 (c)'de ortamda bulunan nesnelerin dış hatları ve indis numaraları sunulmaktadır.
- Ortalama tabanlı ve K-means algoritmasına göre kümeleme işleminde, piksel cinsinden bulunan alan değerleri kullanılarak küme merkezleri elde edilmektedir. Küme merkezleri elde edilirken çalışma ortamına 150 adet fındık yerleştirilerek bilgi veritabanı oluşturulmaktadır. Ortalama tabanlı ve K-means algoritmaları kullanılarak elde edilen küme merkezleri Tablo 1. Küme merkezleri (Cluster Centers) olarak sunulmaktadır. Örnek çalışmada ortamda bulunan 25 adet fındık önerilen yöntem kullanılarak %100 başarımla tespit edilmektedir. Ayrıca, çalışmanın yöntem kısmında sunulan kümeleme metodlarına göre fındıklar ayrıştırılmaktadır.

Tablo 1. Küme merkezleri (Cluster Centers)

Küme Merkezi	Küme Özelliği	Ortalama Tabanlı	K-means
K1	Küçük	388.510	462.560
K2	Orta	612.040	597.610
K3	Büyük	880.885	783.370

- Deneysel çalışmada, ortalama tabanlı yöntem kullanılarak 3 adet küçük, 12 adet orta ve 10 adet büyük sınıf fındık bulunmaktadır. K-means algoritması kullanılarak yapılan kümelemede 3 adet küçük, 10 adet orta, 12 adet büyük fındık tespit edilmektedir. Tablo 2’de örnek çalışmada elde edilen bazı veriler sunulmaktadır.
- Bulunan fındıkların indis numarası, piksel cinsinden görüntü düzleminde kaplamış oldukları alan, mm<sup>2</sup> cinsinden hesaplanan alan, ortalama tabanlı yöntem ve Kmeans algoritması kullanılarak hangi fındığın hangi kümeye girdiğini gösteren bilgiler sunulmaktadır. Sunulan örnek çalışmada, iki yöntem ile kümelemenin %92 oranda benzerlik gösterdiği gözlenmektedir.

Tablo 2. Örnek Çalışma Verileri ( Case study data)

İndis No	Alan (piksel)	Alan (mm <sup>2</sup> )	Ortalama Tabanlı	K-means Algoritması
0	1041	385.355	K3	K3
1	534	197.765	K2	K2
2	603	223.295	K2	K2
3	826	305.620	K3	K3
4	489	181.115	K1	K1
5	946	350.020	K3	K3
6	478	177.045	K1	K1
7	871	322.270	K3	K3
8	939	347.615	K3	K3
9	888	328.745	K3	K3
10	909	336.515	K3	K3
11	924	341.880	K3	K3
12	969	358.715	K3	K3
13	584	216.080	K2	K2
14	461	170.755	K1	K1
15	644	238.465	K2	K2
16	597	220.890	K2	K2
17	713	263.995	K2	K3
18	567	209.790	K2	K2
19	689	255.115	K2	K2
20	778	287.860	K3	K3
21	642	237.540	K2	K2
22	612	226.625	K2	K2
23	572	211.825	K2	K2
24	720	266.585	K2	K3

- Tablo 3'te deneysel çalışma ortamına farklı sayıda fındıklar yerleştirilerek kümeleme işlemi gerçekleştirilmekte ve elde edilen sonuçlar özet halinde sunulmaktadır. Ortama yerleştirilen fındıkların görüntü işleme tekniği kullanılarak %100 oranında tespit edildiği gözlenmiştir. Kmeans ve ortalama tabanlı kümeleme yöntemleri kullanılarak yapılan sınıflama sonuçlarındaki benzeşen fındık sayısı ve iki yöntemin benzerlik oranları tablo 3'te sunulmaktadır. Örneğin, tablo 3'te yer alan durum 1 incelendiğinde, küme dağılımlarının %91 oranında benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Durum 4'te ortama yerleştirilen fındıkların tamamı iri tespit edilmiş ve benzerlik oranı %100 olarak bulunmuştur. Benzerlik oranlarının düşük olduğu durumlarda, uç noktalarda olan fındıklarda sınıflama kayması olduğu gözlenmektedir. Kmeans ve ortalama tabanlı kümeleme yöntemleri ile elde edilen sınıflama sonuçlarının birbirine benzerlik oranı %90 ile %100 arasında bulunmaktadır.

Tablo 3: Örnek deneysel çalışmalar (Experimental work examples)

Durumlar	Ortamdaki Fındık	Tespit Edilen Fındık	Ortalama Tabanlı			K-means			Benzeşen Fındık	Benzerlik Oranı (%)
			K1	K2	K3	K1	K2	K3		
Durum 1	33	33	6	17	10	6	14	13	30	90.91
Durum 2	23	23	6	17	0	8	15	0	21	91.30
Durum 3	10	10	8	2	0	9	1	0	9	90.00
Durum 4	25	25	0	0	25	0	0	25	25	100.00
Durum 5	46	46	12	20	14	14	17	15	43	93.48
Durum 6	52	52	14	30	8	16	27	9	49	94.23
Durum 7	53	53	12	41	0	15	38	0	50	94.34

# SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- Makalede, görüntü işleme teknikleri kullanılarak ortamda bulunan nesnelerin tespit ve sınıflandırılmasına yönelik çalışma sunulmaktadır. Çalışma ortamında bulunan nesnelerin tespit ve sınıflandırılması amacıyla üç aşamalı bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemin ilk aşaması olan görüntü ön işleme bölümünde kameradan alınan görüntü üzerinde filtreleme, grileştirme, ikili resme çevirme ve morfolojik işlemler uygulanmaktadır. Nesne tespiti ve özellik çıkarımı aşamasında ise, ortamda yer alan nesnelerin bulunması ve alan, boyut ve konum gibi özellik bilgileri elde edilmektedir.
- Sınıflandırma aşamasında, bilgi veritabanında bulunan veriler, ortalama tabanlı ve K-means algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmaktadır. Makalenin, deneysel çalışma bölümünde örnekleme işlemi için fındık meyvesi kullanılmaktadır. Çalışma ortamında bulunan fındık meyveleri gerçek zamanlı olarak %100 başarımla tespit edilmektedir. Ortalama tabanlı ve K-means kümeleme yöntemleri kullanılarak fındık meyvelerinin küçük, orta ve büyük olarak sınıflandırılması gerçekleştirilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda, gerçekleştirilen iki algoritma ile sınıflandırmanın %90 ile %100 oranlarında benzerlik gösterdiği tespit edilmektedir. Önerilen yöntem, açık kaynak kodlu yazılımlarla gerçekleştirildiğinden lisans maliyeti bulunmamaktadır. Ayrıca, tek kart bilgisayar sistemleri üzerinde gerçekleştirilebilir olarak hazırlanmıştır.
- Sonuç olarak, gömülü sistem uygulamaları için uygun olup, yüksek performans ve düşük maliyetli olarak gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntemin deneysel çalışmasında farklı nesneler kullanılarak tespit ve sınıflandırma işlemleri de gerçekleştirilebilmektedir.