

**1-RETINA KAN DAMARLARINI ÇIKARMAK İÇİN EŞİKLEME TEMELLİ
MORFOLOJİK BİR YÖNTEM**

**2-GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ VE KÜMELEME
YÖNTEMLERİ KULLANILARAK FINDIK MEYVESİNİN TESPİT VE
SINIFLANDIRILMASI**

İ B R A H İ M
E R K A N

0 2 1 9 5 0 7 6 0 4 4

ÖZET

- Son yıllarda, diyabete bağlı retina hastalığı körlüğün önde gelen nedenlerinden biri haline gelmiştir. Bu hastalığın önüne geçebilmek için retina ağ yapısının doğru bölütlenmesi gerekir. Bu makalede, renkli retina fundus görüntüsü üzerinde retina damarlarını otomatik olarak bölütleyen bir yöntem önerilmiştir. 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. Bu makalede amaç farklı eşikleme algoritmalarının aynı görüntüler üzerindeki performans karşılaştırmasını sağlamaktır. Uygulanan yöntem, herkese açık olarak sunulan retina görüntü veri seti üzerinde doğrulanmıştır. Eşikleme algoritmalarının 40 görüntüden oluşan veri seti üzerindeki doğruluk oranı bulanık mantık tabanlı eşikleme için 0.952, maksimum entropi tabanlı eşikleme için 0.950 ve çoklu eşikleme için 0.925 olarak hesaplanmıştır.

1-GİRİŞ

- DIYABETE BAĞLI RETINA BOZUKLUKLARI KİŞİLERDE KÖRLÜĞE SEBEP OLAN VE DIYABETİK RETINOPATİ (DR) OLARAK ADLANDIRILAN EN ÖNEMLİ HASTALIKLARDAN BİRİDİR. BU HASTALIĞIN ERKEN TEŞHİS EDİLMESİ, KİŞİLERDE GÖRME YETİSİNİN KAYBOLMAMASI AÇISINDAN ÖNEMLİDİR. DR HASTALIĞININ ERKEN VE DOĞRU TEŞHİS EDİLMESİ İÇİN RETINA DAMARLARININ DOĞRU BİR ŞEKİLDE BÖLÜTLENMESİ GEREKİR. RETINA GÖRÜNTÜLERİNİN TESPİT EDİLMESİ İÇİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ SİSTEMLER GELİŞTİRİLMİŞTİR. BU SİSTEMLER YENİLİKÇİ YÖNTEMLER KULLANARAK SÜREKLİ GELİŞTİRİLMEKTEDİR. DERİN ÖĞRENME YÖNTEMLERİ İLE RETINA DAMAR BÖLÜTLEME SİSTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ DAHA SAĞLAM SONUÇLAR VERİR ANCAK DONANIM BAĞLILIĞI GEREKTİRİR. ANCAK GELENEKSEL YÖNTEMLER OLARAK ADLANDIRILAN DENETİMLİ/DENETİMSİZ ÖĞRENME YÖNTEMLERİ, MORFOLOJİK YÖNTEMLER, UYUM SÜZGEÇİ GİBİ YÖNTEMLER DAHA HIZLI VE DAHA ANLAŞILABİLİR YÖNTEMLERDİR. BU MAKALEDE GELENEKSEL BİR YÖNTEM OLAN MORFOLOJİK TABANLI BİR YÖNTEM KULLANILMIŞTIR.

1- GİRİŞ

- RETINANIN OKSİYENSİZ KALMASI SONUCU RETİNADA İSTENMEYEN YENİ DAMARLAR OLUŞUR. BU DAMARLAR HASSAS BİR YAPIDA OLUP DR HASTALIĞININ HABERCİSİDİR. BU İSTENMEYEN DAMARLARI TESPİT ETMEK İÇİN RETİNA DAMAR AĞ YAPISININ BİLİNMESİ GEREKİR. BU MAKALEDE, RETİNA DAMAR AĞ YAPISINI OTOMATİK OLARAK BÖLÜTLEYEN MORFOLOJİK TABANLI BİR YÖNTEM ÖNERİLMİŞTİR. BU YÖNTEM MORFOLOJİK İŞLEMLERE DAYALI İKİ FARKLI YÖNTEMEN ESİNLENEREK OLUŞTURULMUŞTUR. BU YÖNTEMDE, İLK ÖNCE RGB RENK UZAYINDAKİ GÖRÜNTÜLER GRI ÖLÇEKLİ GÖRÜNTÜLERE DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞTÜR. DAHA SONRA, GRI ÖLÇEKLİ GÖRÜNTÜNÜN TERSİ ÜZERİNDE ÜST-ŞAPKA, ALT-ŞAPKA VE MORFOLOJİK AÇMA YÖNTEMİ UYGULANMIŞTIR. MORFOLOJİK ÜST VE ALT ŞAPKA YÖNTEMİN KULLANILMASI İLE RETİNA DAMALARININ BELİRGİNLEŞTİRİLMESİ SAĞLANMIŞTIR. BELİRGİNLEŞTİRİLMİŞ RETİNA GÖRÜNTÜLERİNİ BÖLÜTLEMELİK İÇİN ÜÇ FARKLI EŞİKLEME YÖNTEMİ KULLANILMIŞTIR. KULLANILAN EŞİKLEME YÖNTEMLERİ ÇOKLU EŞİKLEME YÖNTEMİ, MAKSİMUM ENTROPİ TABANLI EŞİKLEME YÖNTEMİ VE BULANIK KÜMELEME TABANLI EŞİKLEME YÖNTEMİDİR. ÖNERİLEN YÖNTEM LİTERATÜRDEKİ DİĞER GELENEKSEL YÖNTEMLERLE DE KIYASLANABİLİR OLMASI İÇİN HALKA AÇIK OLARAK SUNULAN DRIVE VERİ SETİ ÜZERİNDE TEST EDİLMİŞTİR. BU MAKALEDE, LİTERATÜRDEKİ MEVCUT ÇALIŞMALARDAN FARKLI OLARAK RETİNA FUNDUS GÖRÜNTÜLERİ ÜZERİNDE FARKLI EŞİK ALGORİTMALARININ KIYASLANMASI YAPILMIŞTIR.

1- GİRİŞ

- RETINANIN OKSİYENSİZ KALMASI SONUCU RETİNADA İSTENMEYEN YENİ DAMARLAR OLUŞUR. BU DAMARLAR HASSAS BİR YAPIDA OLUP DR HASTALIĞININ HABERCİSİDİR. BU İSTENMEYEN DAMARLARI TESPİT ETMEK İÇİN RETİNA DAMAR AĞ YAPISININ BİLİNMESİ GEREKİR. BU MAKALEDE, RETİNA DAMAR AĞ YAPISINI OTOMATİK OLARAK BÖLÜTLEYEN MORFOLOJİK TABANLI BİR YÖNTEM ÖNERİLMİŞTİR. BU YÖNTEM MORFOLOJİK İŞLEMLERE DAYALI İKİ FARKLI YÖNTEMEN ESİNLENEREK OLUŞTURULMUŞTUR. BU YÖNTEMDE, İLK ÖNCE RGB RENK UZAYINDAKİ GÖRÜNTÜLER GRİ ÖLÇEKLİ GÖRÜNTÜLERE DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞTÜR. DAHA SONRA, GRİ ÖLÇEKLİ GÖRÜNTÜNÜN TERSİ ÜZERİNDE ÜST-ŞAPKA, ALT-ŞAPKA VE MORFOLOJİK AÇMA YÖNTEMİ UYGULANMIŞTIR. MORFOLOJİK ÜST VE ALT ŞAPKA YÖNTEMİN KULLANILMASI İLE RETİNA DAMALARININ BELİRGİNLEŞTİRİLMESİ SAĞLANMIŞTIR. BELİRGİNLEŞTİRİLMİŞ RETİNA GÖRÜNTÜLERİNİ BÖLÜTLEMELİK İÇİN ÜÇ FARKLI EŞİKLEME YÖNTEMİ KULLANILMIŞTIR. KULLANILAN EŞİKLEME YÖNTEMLERİ ÇOKLU EŞİKLEME YÖNTEMİ, MAKSİMUM ENTROPİ TABANLI EŞİKLEME YÖNTEMİ VE BULANIK KÜMELEME TABANLI EŞİKLEME YÖNTEMİDİR. ÖNERİLEN YÖNTEM LİTERATÜRDEKİ DİĞER GELENEKSEL YÖNTEMLERLE DE KIYASLANABİLİR OLMASI İÇİN HALKA AÇIK OLARAK SUNULAN DRIVE VERİ SETİ ÜZERİNDE TEST EDİLMİŞTİR. BU MAKALEDE, LİTERATÜRDEKİ MEVCUT ÇALIŞMALARDAN FARKLI OLARAK RETİNA FUNDUS GÖRÜNTÜLERİ ÜZERİNDE FARKLI EŞİK ALGORİTMALARININ KIYASLANMASI YAPILMIŞTIR.

2-MATERYAL VE METOT

2.2-EŞİKLEME YÖNTEMLERİ

• GÖRÜNTÜ EŞİKLEME SADELIĞI VE SAĞLAMLIĞI NEDENİ İLE EN SIK KULLANILAN GÖRÜNTÜ BÖLÜTLEME YÖNTEMLERİNDEN BİRİDİR. EŞİKLEME İŞLEMİ, GRI ÖLÇEKLI BİR GÖRÜNÜN YOĞUNLUK SEVIYESİNE GÖRE SINIFLARA AYRILDIĞI BİR İŞLEMDİR. BU SINIFLANDIRMA İŞLEMİ İÇİN TANIMLANMIŞ KURALLARA UYGUN BİR EŞİK DEĞERİ SEÇMEK GEREKİR. BU ÇALIŞMADA KULLANILAN EŞİKLEME YÖNTEMLERİ ŞÖYLEDIR;

- 2.2.1- ÇOK SEVIYELI EŞİKLEME
- GRI ÖLÇEKLI GÖRÜNTÜYÜ BIRKAÇ FARKLI BÖLGEYE AYIRABİLEN BİR İŞLEMDİR. BU İŞLEME AIT UYULMASI GEREKEN KURAL DENKLEM 3'DE MATEMATİKSEL OLARAK İFADE EDİLMİŞTİR.
- BURADA, P PARAMETRESİ L GRI TONLAMA SEVIYELERİ $L = \{0, 1, 2, \dots, L - 1\}$ İLE TEMSİL EDİLEBİLEN GRI TONLAMA GÖRÜNTÜSÜNÜN PİKSELLERİNDEN BİRİDİR. C1 VE C2 PARAMETRELERİ, P PİKSELİNİN ATANACAĞI SINIFLARDIR, TH PARAMETRESİ İSE EŞİK DEĞERİDİR.

2-MATERYAL VE METOT

2.1-MORFOLOJİK İŞLEMLER

- MORFOLOJİK İŞLEMLERİN TEMEL AMACI, GÖRÜNTÜNÜN TEMEL ÖZELLİKLERİNİ KORUMAK VE GÖRÜNTÜYÜ BASİTLEŞTİRMEKTİR. BU ÇALIŞMADA, ÜST-ŞAPKA VE ALT-ŞAPKA DÖNÜŞÜMLERİ KAN DAMARLARINA BELİRGİNLİK KAZANDIRMAK İÇİN KULLANILIR. ÜST ŞAPKA DÖNÜŞÜMÜ, BİR GİRİŞ GÖRÜNTÜSÜNE MORFOLOJİK AÇMA İŞLEMİ UYGULANDIKTAN SONRA UYGULAMA SONUCUNUN ORIJİNAL GİRİŞ GÖRÜNTÜSÜNDEN ÇIKARILMASI İŞLEMİDİR.
- ALT-ŞAPKA DÖNÜŞÜMÜ, BİR GİRİŞ GÖRÜNTÜSÜNE MORFOLOJİK BİR KAPAMA İŞLEMİ UYGULANDIKTAN SONRA UYGULAMA SONUCUNUN ORIJİNAL GİRİŞ GÖRÜNTÜSÜNDEN ÇIKARILMASI İŞLEMİDİR.

2-MATERYAL VE METOT

2.2-EŞİKLEME YÖNTEMLERİ

• GÖRÜNTÜ EŞİKLEME SADELIĞI VE SAĞLAMLIĞI NEDENİ İLE EN SIK KULLANILAN GÖRÜNTÜ BÖLÜTLEME YÖNTEMLERİNDEN BİRİDİR. EŞİKLEME İŞLEMİ, GRI ÖLÇEKLI BİR GÖRÜNÜN YOĞUNLUK SEVİYESİNE GÖRE SINIFLARA AYRILDIĞI BİR İŞLEMDİR. BU SINIFLANDIRMA İŞLEMİ İÇİN TANIMLANMIŞ KURALLARA UYGUN BİR EŞİK DEĞERİ SEÇMEK GEREKİR. BU ÇALIŞMADA KULLANILAN EŞİKLEME YÖNTEMLERİ ŞÖYLEDIR;

- 2.2.1- ÇOK SEVİYELİ EŞİKLEME
- GRI ÖLÇEKLI GÖRÜNTÜYÜ BİRKAÇ FARKLI BÖLGEYE AYIRABİLEN BİR İŞLEMDİR. BU İŞLEME AIT UYULMASI GEREKEN KURAL DENKLEM 3'DE MATEMATİKSEL OLARAK İFADE EDİLMİŞTİR.
- BURADA, P PARAMETRESİ L GRI TONLAMA SEVİYELERİ $L = \{0, 1, 2, \dots, L - 1\}$ İLE TEMSİL EDİLEBİLEN GRI TONLAMA GÖRÜNTÜSÜNÜN PİKSELLERİNDEN BİRİDİR. C1 VE C2 PARAMETRELERİ, P PİKSELİNİN ATANACAĞI SINIFLARDIR, TH PARAMETRESİ İSE EŞİK DEĞERİDİR.

2-MATERYAL VE METOT

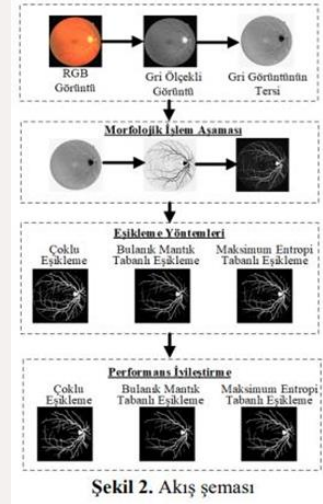
2.2-EŞİKLEME YÖNTEMLERİ

•2.2.3- BULANIK MANTIK TABANLI EŞİKLEME

- BULANIK KÜMELEME BİR YUMUŞAK KÜMELEME TEKNIĞIDIR. BU KÜMELEME YÖNTEMİ, NESNELERİN KÜMELERE OLAN AITLIĞINI İFADE ETMEK İÇİN BİR DERECE KAVRAMI KULLANIR. HER NESNE İÇİN, TOPLAM DERECE 1'DİR. DENKLEM (7) HER PİKSELİN ÜYELİK DEĞERİNİ HESAPLAMAK İÇİN KULLANILIR.
- Bölütleme görüntülerini ikili görüntülere dönüştürmek için kullanılacak eşik hesaplaması denklem (8) ve Denklem (9) da verildiği gibidir.
- Burada, c parametresi sınıfı, l parametresi görüntüyü ve seviye parametresi denklemden gelen eşik değeridir.

3-KULLANILAN YÖNTEM

ÖNERİLEN YÖNTEMDE, VERİ SETİNDE BULUNAN FUNDUS GÖRÜNTÜLERİNE AIT DAMARLARIN BÖLÜTLENMESİ SAĞLANMIŞTIR. ÖNCELİKLE, VERİ SETİNDE BULUNAN GÖRÜNTÜLER RGB RENK UZAYINDAN GRI ÖLÇEKLI GÖRÜNTÜLERE DÖNÜŞTÜRÜLÜR. GRI ÖLÇEKLI GÖRÜNTÜLERİN TERSİ ÜZERİNDE ÖNERİLEN SİSTEM UYGULANIR.

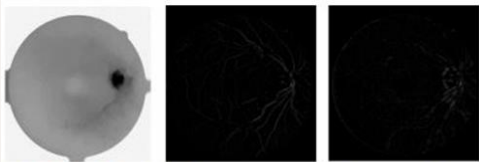


3.1-Veri Seti

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.

3.2-MORFOLOJİK İŞLEMLER

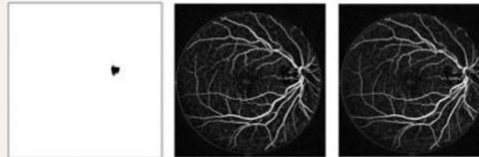
•RETINA KAN DAMARLARI, RETINA ARKA PLANINA GÖRE DAHA KOYU GÖRÜNÜRLER. ANCAK, BAZI DURUMLARDA KAN DAMARLARININ MERKEZ ÇİZGİSİ BÖLGESİNDE PARLAKLIK GÖRÜNÜR. BU GÖRÜNÜM YANSIMALARDAN KAYNAKLANMAKTADIR. BU DURUMU ORTADAN KALDIRMAK İÇİN İLK ÖNCE MORFOLOJİK AÇMA İŞLEMİ UYGULANIR. MORFOLOJİK AÇMA İŞLEMİ İÇİN YARIÇAPI 21 OLAN BİR DISK OLUŞTURULUR. OLUŞTURULAN BU DISK GRI ÖLÇEKLİ GÖRÜNTÜNÜN TERSİNE UYGULANARAK MORFOLOJİK AÇMA İŞLEMİ YAPILMIŞ OLUR. DAHA SONRA UZUNLUĞU 21 OLAN BİR ÇİZGİSEL YAPI ELEMANI OLUŞTURULUR. OLUŞTURULAN BU ÇİZGİSEL YAPI ELEMANI GRI ÖLÇEKLİ GÖRÜNTÜNÜN TERSİNE UYGULANARAK ÜST-ŞAPKA VE ALT-ŞAPKA DÖNÜŞÜMLERİ TAMAMLANMIŞ OLUR.



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

$$\begin{aligned} I_{S_{th}} &= \sum_{\theta \in A} I_{th}^{\theta} \\ I_{S_{bh}} &= \sum_{\theta \in A} I_{bh}^{\theta} \\ I_{S_o} &= \sum_{\theta \in A} I_o^{\theta} \end{aligned} \quad (10)$$

Burada, $I_{S_{th}}$, $I_{S_{bh}}$ ve I_{S_o} parametreleri sırasıyla θ derecelerde yapısal elemanın üst-şapka, alt-şapka ve morfolojik açma işlemlerinin toplamıdır. A parametresi, $\{x | 0 \leq x \leq 180 \text{ ve } x \bmod(22.5) = 0\}$ olarak tanımlanır.



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

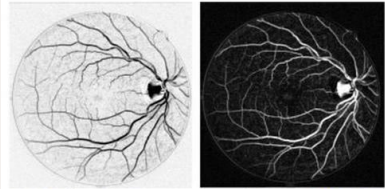
Belirli bir açıda yönlendirilmiş çizgisel bir yapılandırma elemanı fundus içerisinde tutulamadığında bir damarı veya damarın bir kısmını yok edebilir. Bu problem genelde yapılandırma elemanı dikey yönlere sahip olduğunda ve yapılandırma elemanı damar genişliğinden daha büyük olduğu durumlarda ortaya çıkmıştır. Oysa yapılandırma elemanının yönü ile damar paralel olduğunda bir yok olma olayı meydana gelmeyecektir. M. Fraz vd, bu probleme çözüm olması için 21 piksel uzunluğunda bir çizgisel yapılandırma elemanı belirlemiştir. Bu yapısal elemanı 22.5°'lik açılarla döndürmüş ve en büyük çapa sahip damarı çıkarmak için bir toplam üst şapka dönüşümü kullanmıştır.

3-KULLANILAN YÖNTEM

3.2-Morfolojik İşlemler (Devamı)

Daha sonra, M. D. Saleh vd. [12] tarafından önerilen matematiksel ifade kullanılmış ve denklem (10)'da elde edilen sonuçlar bu matematiksel ifadeye göre nihai sonuca ulaşmıştır. M. D. Saleh vd'de verilen matematiksel ifadede morfolojik açma işleminin üzerine üst-şapka sonucu eklenerek elde edilen sonuç alt-şapka sonucundan çıkarılır. Önerilen yöntemde denklem (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.

$$I = (I_{s_o} + I_{s_a}) - I_{s_b} \quad (11)$$

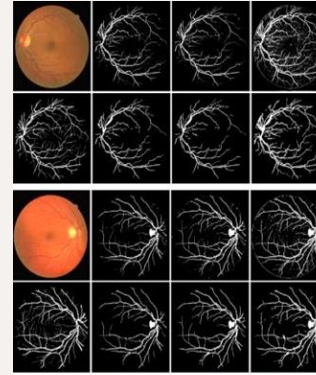


Şekil 5. Önerilen yöntem sonucu. İlk görüntü Denklem (11) sonucu, İkinci görüntü ilk görüntünün tersi alınmış halidir.

4-BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1-Bölütlenme 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. Performans iyileştirme 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.

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

Burada, TP parametresi doğru pozitif, FP parametresi yanlış pozitif, TN parametresi doğru negatif ve FN parametresi yanlış negatif pikselleri temsil eder. ACC parametresi doğruluk oranını temsil eder. Hem bölütlenmiş görüntüde hem de gerçek zemin görüntüsünde aynı piksele ait ve piksel değerleri "1" olan piksellerin toplamı TP parametresinin değerini oluşturur. Hem bölütlenmiş görüntüde hem de gerçek zemin görüntüsünde aynı piksele ait ve piksel değerleri "0" olan piksellerin toplamı TN parametresinin değerini oluşturur. Hem bölütlenmiş görüntüde hem de gerçek zemin görüntüsünde aynı piksele ait ve piksel değerleri bölütlenmiş görüntü için "0", gerçek zemin görüntüsü için "1" olan piksellerin toplamı FN

5-SONUÇLAR

Bu makalede, paylaşımı 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.

ÖZET

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.

1-GİRİŞ

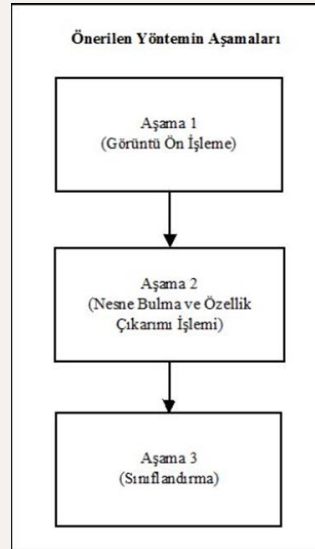
Görüntü işleme ve bilgisayarlı görme uygulamaları son yıllarda ciddi bir artış göstermektedir. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak yapılan çalışmalarda, ilk olarak kameradan görüntüler alınmaktadır. Alınan görüntüler üzerinde, görüntü ön işleme adımları uygulanmakta ve ilgilenilen nesnelere ait özellik çıkartımı gerçekleştirilmektedir. Ortamda bulunan nesnelerin doğru bir şekilde tespit edilmesi, özellik çıkarımı aşaması için çok önemlidir. Nesnelerin tespit edilmesi veya tanınması amacıyla yapılan çalışmalarda farklı yöntemler önerilmektedir. Bilgisayarlı görmenin yaygınlaşması sonucunda, tarım alanında ürün kalitesinin gözlenmesi, ürün sulama, ilaçlama, hasat, ürün sınıflandırma, ürün gelişimlerinin gözlenmesi gibi çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca tarım alanında, görüntü işleme tekniklerinin kullanılması ile yapılan çeşitli çalışmalarda şeftali, elma, buğday, fındık, kiraz, ceviz, badem vb. Meyveler sınıflandırılmakta ve özellikleri belirlenmektedir. Bu özelliklerin belirlenmesinde sayısal görüntü analizi, sınıflama, kümeleme gibi yöntemler kullanılarak, araştırılan nesnelerin boyut, cins veya kalite bakımından sınıflandırılması gerçekleştirilmektedir.

1-GİRİŞ

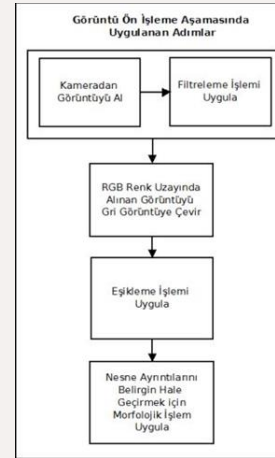
Makalede, çalışma ortamında bulunan nesnelerin tespit edilmesi, özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırmasına yönelik üç aşamalı bir sistem önerilmektedir. Önerilen sistemin ilk aşamasında kameradan alınan görüntü üzerinde, görüntü ön işleme adımı uygulanmaktadır. İkinci aşamada, ortamda bulunan nesneler tespit edilmekte ve nesnelere ait veriler bilgi veritabanına aktarılmaktadır. Son aşamada ise bilgi veritabanı kullanılarak nesnelerin sınıflandırılması gerçekleştirilmektedir

2-ÖNERİLEN YÖNTEM

Ortamda bulunan aynı nesnelerin tespit edilerek, sınıflandırılmasına yönelik yapılan çalışmada üç aşamalı bir yöntem önerilmektedir.



Görüntü ön işleme aşamasında, kameradan alınan görüntü üzerinde sırasıyla filtreleme, resmin grileştirilmesi ve ikili resme çevrilmesi işlemleri uygulanmaktadır. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesinden sonra görüntü üzerinde yer alan ve ilgilenilen nesneler daha belirgin ve kolay işlenebilir hale getirilmektedir.



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 gerçekleştirilmektedir. Çalışmada, 3x3 boyutlarında çekirdek matrisi kullanan, ortalama filtreleme yöntemi kullanılmaktadır. Çekirdek matrisin boyutlarının büyük seçilmesi, görüntü üzerindeki gürültüleri azaltırken, bulanıklaştırma da yapmaktadır.

K, NxN boyutlarında filtreleme için kullanılan çekirdek matrisini, I_R , kameradan alınan renkli görüntüye ait matrisi, I_R^1 , filtreleme sonunda oluşan yeni görüntü matrisini ifade etmektedir. Denklem 2'de her piksele ait yeni değerlerin hesaplanmasını gösteren formül sunulmaktadır.

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

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

2-ÖNERİLEN YÖNTEM

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.

Filtreleme işleminden sonra renkli görüntünün, grileştirilmesi adımı gerçekleştirilmektedir. Grileştirme işlemine ait formül denklem 3'te sunulmaktadır. Denklemde, I_G grileştirilmiş yeni görüntü matrisini, I_{RK}^1 , I_{RY}^1 ve I_{RM}^1 sırasıyla filtrelenmiş renkli görüntüdeki kırmızı, yeşil ve mavi renk değerini ifade etmektedir [19,20].

$$I_G(x, y) = 0.299xI_{RK}^1(x, y) + 0.587xI_{RY}^1(x, y) + 0.114xI_{RM}^1(x, y) \quad (3)$$

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 adımı, yapısal element ve ikili görüntü değerlerindeki komşu piksel değerleri kullanılarak görüntü güncellenmektedir.

Denklem 4'te ikili görüntü oluşturma işlemine ait formül sunulmaktadır.

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

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].

$$I_M(x, y) = \bigcap_{i=0}^{N-1} \bigcap_{j=0}^{N-1} Y(i, j) \cup I_1(x+i, y+j) \quad (5)$$

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

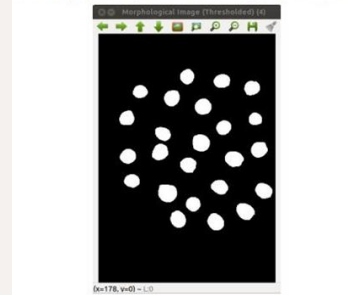
2-ÖNERİLEN YÖNTEM

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. Denklem 7'de $G(x,y)$, momenti alınacak ikili görüntüyü, M_{pq} momenti, p ve q değerleri ise, momentin derecesini belirlemektedir. Denklemden yer alan x ve y değerleri, görüntüyü oluşturan matristeki satır ve sütunları ifade etmektedir.



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.



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.

$$p = 0 \text{ ve } q = 0 \rightarrow m_{00} = \iint_{x,y} G(x, y) dx dy \quad (8)$$

$$p = 1 \text{ ve } q = 0 \rightarrow m_{10} = \iint_{x,y} x G(x, y) dx dy \quad (9)$$

$$p = 0 \text{ ve } q = 1 \rightarrow m_{01} = \iint_{x,y} y G(x, y) dx dy \quad (10)$$

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.

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

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

2-ÖNERİLEN YÖNTEM

Kümeleme, fiziksel veya soyut nesneleri benzer nesne sınıfları içerisinde grupta sürecidir. 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 kümelendirilebilmektedir. Kümeleme yöntemi görüntü 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.

2.3.1.Ortalama tabanlı sınıflandırma

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.

$$K_2 = \frac{1}{N} \sum_{x=1}^N \text{Alan}_x \quad (13)$$

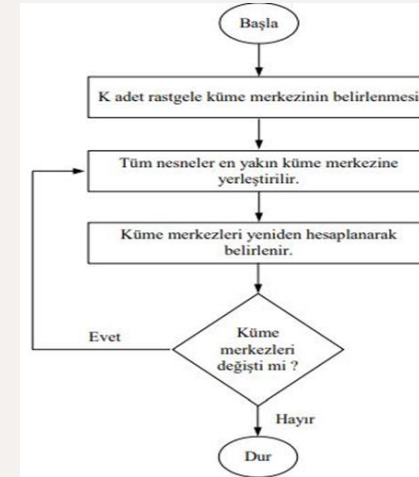
Diğer iki küme merkezi hesaplanırken ilk olarak en büyük (maksAlan) ve en küçük (minAlan) alan hesaplanmaktadır. K_1 ve K_3 küme merkezlerinin hesaplanmasını gösteren ifadeler, denklem 14 ve denklem 15'te sunulmaktadır.

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

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

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 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. 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.



2-ÖNERİLEN YÖNTEM

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.

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

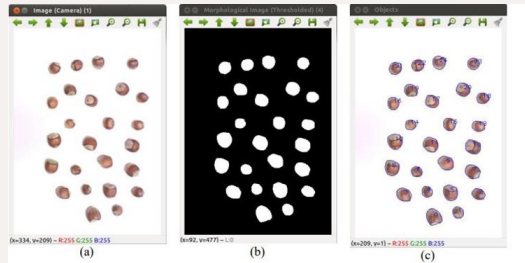
$$d(p, q) = |p_1 - q_1| + |p_2 - q_2| + \dots + |p_n - q_n| = \sum_{i=1}^n |p_i - q_i| \quad (17)$$

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

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. Görüntü ön işleme, nesne bulma ve özellik çıkartımı ile elde edilmiş olan nesnelerin, piksel olarak hesaplanmış olan alan verileri kullanarak 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.

3-DENEYSEL ÇALIŞMA

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: 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.

Ortalama tabanlı ve K-means algoritmasına göre kümeleme işlemi, 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’de sunulmaktadır.

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

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 2. Örnek Çalışma Verileri (Case study data)

İndis No	Alan (piksel)	Alan (mm ²)	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

3-DENEYSEL ÇALIŞMA

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. K-means 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. K-means 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

4- SONUÇLAR

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.