



GÖRÜNTÜ FİLTRELEME İLE DENETİMSİZ RETİNA DAMAR BÖLÜTLENMESİ İÇİN PARAMETRE ENİYİLEŞTİRİLMESİ

Cem YAKUT¹, Sezer ULUKAYA^{2*}

¹ Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hesaplamalı Bilimler Anabilim Dalı, Edirne, Türkiye

² Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Edirne, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Retina Görüntüsü,
Damar Örüntü Bölütlemesi,
Denetimsiz Görüntü İşleme.*

Öz

Göz hastalıklarının tespiti ve değerlendirilmesi için retina görüntüleri fundus adı verilen özelleştirilmiş bir kamera sistemi ile sayısal ortamda elde edilmektedir. Çeşitli gürültüler ve keskin olmayan zıtlık dolayısıyla gözdeki damarların uzmanlar tarafından tespiti zorlaşmakta ve bu durum uzmanların teşhis koymasını zorlaştırabilmektedir. Bu çalışmada, fundus görüntülerinden retina damar örgüsü bölütlenme başarısını arttırmak amacıyla denetimsiz görüntü işleme tabanlı matematiksel morfoloji ve Coyle filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yaklaşımları kullanılmıştır. Ek olarak, retina görüntüleri gürültü giderme ve zıtlık arttırmak için ön işlemden geçirilmiştir. Denetimsiz görüntü işleme tabanlı yaklaşımların başarısını arttırmak üzere parametre optimizasyonu yapılmıştır. Görüntü işlemede sıklıkla kullanılan kontrast sınırlı adaptif histogram eşitleme (KSAHE) yönteminde renkli retina görüntüleri için en uygun kontrast üst sınır değeri araştırılmıştır. Önerilen yaklaşım, araştırmacıların erişimine açık DRIVE ve STARE veri kümelerinde test edilmiştir. Önceki denetimsiz öğrenme çalışmalarına kıyasla bazı metriklerde başabaş ve bazı metriklerde daha başarılı sonuçlara ulaşılmıştır.

PARAMETER OPTIMIZATION FOR UNSUPERVISED RETINAL VESSEL SEGMENTATION WITH IMAGE FILTERING

Keywords

*Retinal Image,
Vascular Pattern
Segmentation,
Unsupervised Image
Processing.*

Abstract

For the detection and evaluation of eye disorders, retinal pictures are obtained in a digital environment with a customized camera system called the fundus. Due to various noises and unsharp contrast, it is difficult to detect the vessels in the eye by specialists, and this can make it difficult for specialists to diagnose. In this study, unsupervised image processing-based mathematical morphology and Coyle filtering, and connected component analysis approaches were used to increase the success of retinal vascular segmentation from fundus images. In addition, retinal images are preprocessed for noise reduction and increased contrast. Parameter optimization was performed to increase the success of unsupervised image processing-based approaches. In the contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) method, which is frequently used in image processing, the most appropriate upper limit value for contrast on color retinal images was investigated. The presented approach tested on the DRIVE and STARE datasets available to researchers. Compared to previous unsupervised learning studies, some metrics were at par with the literature and some metrics were more successful.

Alıntı / Cite

Yakut, C., Ulukaya, S., (2022). Görüntü Filtreleme İle Denetimsiz Retina Damar Bölütlenmesi İçin Parametre Eniyileştirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 844-855.

* İlgili yazar / Corresponding author: sezerulukaya@trakya.edu.tr, +90-284-226-1217/1315

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
C. Yakut, 0000-0002-4060-4867	Başvuru Tarihi / Submission Date	06.12.2021
S. Ulukaya, 0000-0003-0473-7547	Revizyon Tarihi / Revision Date	18.03.2022
	Kabul Tarihi / Accepted Date	24.04.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Boş bir küre şekline sahip olan göz; sert, damar ve ağ tabakalarından oluşmak üzere 3 katmandan meydana gelir. Göz kapakları, kaslar, gözyaşı bezleri ve konjonktiva, gözü koruyan ve gözün fonksiyonlarını yerine getirmesine yardımcı olan yapılardır. Gözün arka kısmında yer alan, ışığı algılayan dokuya retina ismi verilir. Retina tabakası; fovea, optik disk ve makula gibi anatomik yapılardan ve retina damarlarından oluşmaktadır. Retina yüksek miktarda sinir içerir. Retinada; arteriyol ve venüller arasında kılcal (capillary) damarlar bulunur (Willoughby vd., 2010). Retinal venlerdeki basıncın göz içi basınçla aynı olduğu bilinmektedir. Retina damarlarında meydana gelebilecek bir hasar, retinal hastalıklar ile sonuçlanacağı için damar görüntüleme testleri tespit açısından oldukça önemlidirler.

Dijital retinografi, bir bilgisayar sistemi ve retina görüntüleme üzerine özelleştirilmiş bir kameradan (fundus) oluşmaktadır. Fundus kamera aracılığıyla retina tabakası görüntülenmektedir. Dijital retina taraması sonucunda elde edilen görüntü, retina kan damar örüntüsü, damar çapı, fovea ve makula genişlikleri, optik disk ile ilgili yapısal bilgileri sağlamaktadır. Yapısal bilgiler birçok retina hastalığının taranması, tespiti ve değerlendirilmesi açısından önemlidir (Akbar vd., 2019). Makula dejenerasyonu, retina yırtıkları, diyabetik retinopati, diyabetik glokom, makula deliği, retinal blastom, diyabetik makula ödemi retinada görülen başlıca hastalıklardır (Retinal Diseases, 2020). Kılcal damar ve optik sinirlerde meydana gelen hasarlar sonucu diyabetik retinopati, diyabetik makula ödemi ve glokom gibi retinal hastalıklar dijital retina taraması ile tespit ve birbirlerinden ayırt edilebilmektedirler (Santos vd., 2020).

Retina taraması sonucu elde edilen fundus görüntüleri görüntüye maruz kalabilmektedir, aydınlatma farklılıkları barındırabilmektedir ve düşük zıtlığa sahip olabilmektedir. Bu durum, retina hastalıklarının tespitinden önceki basamak olan hassas kılcal damarların tespitini zorlaştırmaktadır. Uzmanların teşhis koymasına yardımcı olan otomatik sistemlerin gözdeki damar yapısını ve anatomik yapıları yüksek hassasiyetle ayırabilmesi klinik açıdan ve yukarıda sıralanan zorluklardan dolayı çok önemlidir. Bu çalışmada, gözdeki damar yapısının otomatik ve denetimsiz olarak yüksek başarıyla tespit edilebilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, renkli retina görüntülerinden, denetimsiz ön işleme yaklaşımları kullanılarak, retina damar bölütlenmesi algoritması önerilmiştir. Ayrıca, görüntü işlemede sıklıkla kullanılan kontrast sınırlı adaptif histogram eşitleme (KSAHE) yönteminde renkli retina görüntüleri için en uygun kontrast üst sınır değeri araştırılmıştır. Retina damar bölütlenmesi için tasarlanan Coye filtreleme yönteminin başarısını arttırmak üzere Coye filtrelemenin bağlantılı bileşen analizi yaklaşımıyla birlikte kullanıldığında başarısı incelenmiştir. Wiener ve medyan filtrenin kullanımının sonuçları iyileştirme yönündeki etkisi de araştırılmıştır. Son olarak, matematiksel morfoloji ile Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yaklaşımlarının sonuçları en iyi parametrelere göre karşılaştırılmış ve ortaya çıkan başarımlar değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada sırasıyla Bölüm 2’de, literatürde yer alan retina damar yapısının denetimsiz bölütlenmesi üzerine yapılan çalışmalar aktarılmaktadır, Bölüm 3’te, kullanılan veri kümesi ve uygulanan yöntemlerin detayları açıklanmaktadır, Bölüm 4’te, yapılan deneysel testler ve elde edilen sonuçlar belirtilmiştir. Son olarak Bölüm 5’te sonuçların detaylı yorumlanmasına yer verilmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Literatürde retina damar yapısının bölütlenmesi amacıyla denetimsiz çalışmalar ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar mevcuttur (Akbar vd., 2019; Li vd., 2021).

Zhang ve arkadaşları retina kan damarlarının doğru şekilde çıkarılması amacıyla Gauss türevi ile eşleştirme filtresi yöntemini önermiştir. Retina damarlarının eşik değeri eşleştirme filtresi ile bulunmaktadır. Birinci dereceden Gauss türevi yöntemi ile eşleştirme filtresinden kaçan birçok ince damar yapılarını da algılamaktadır. Bütünleştirilmiş yöntem resim başına 10 saniye gibi bir sürede retinadaki vasküler yapıları ayrıştırabilmektedir (Zhang vd., 2010).

You ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada ince ve kalın damarları aynı anda tespit edebilmek amacıyla radyal projeksiyon ve yönlendirilebilir dalgacık yöntemini kullanmışlardır. DRIVE veri kümesi üzerindeki test

sonucunda doğruluk % 94.34, STARE veri kümesindeki test sonucunda ise doğruluk % 94.97 olarak hesaplanmıştır (You vd., 2011).

Bir başka retina damar bölütlenmesi çalışmasında Gauss türevi filtresi ve morfolojik üst-hat operatörü yöntemleri birleştirilerek kullanılmıştır. Gri dönüşüm uygulanmış fundus görüntülerinden retina damarlarının sınırları Gauss türevi filtresi kullanılarak çıkarılmıştır. Morfolojik üst-hat operatörü kullanılarak damarların sürekliliği sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar sırasıyla; doğruluk, duyarlılık ve özgüllük parametrelerine göre değerlendirilmiştir. DRIVE veri kümesinde ortalama doğruluk % 94.30, ortalama duyarlılık % 71.52 ve ortalama özgüllük % 97.69 olarak bulunmuştur. STARE veri kümesinde ortalama doğruluk % 94.41, ortalama duyarlılık % 73.10 ve ortalama özgüllük % 96.81 bulunmuştur (Fraz vd., 2012).

Zhao ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada; ilk olarak fundus görüntülerine kontrast sınırlı adaptif histogram eşitleme (KSAHE) ve 2B Gabor dalgacık dönüşümü yöntemini uygulayarak damarların kontrastını arttırmışlardır. Ardından görüntüyü yumuşatmak ve damar sınırlarını korumak için anizotropik filtre uygulanmıştır. Son olarak, damar örgüsünü elde etmek amacıyla bölge büyütme yöntemi ve aktif sınır modeli uygulanarak sonuçlar birleştirilmiştir. Oluşturulan sistem DRIVE ve STARE veri kümelerinde test edilmiş ve sırasıyla % 94.77 ve % 95.09 ortalama doğruluk değerlerine ulaşmıştır (Zhao vd., 2014).

Azzopardi ve diğerleri retina damar bölütlenmesi için Gauss filtresi ve kayan fark kombinasyonu yöntemi üzerine çalışmışlardır. Önerilen yöntem, ağırlıklı geometrik ortalama kullanarak damarların başlangıç ve bitiş noktalarını tespit edebilmektedir. Önerilen sistem duyarlılık ve özgüllük parametreleri kullanılarak raporlanmıştır. DRIVE veri kümesinde ortalama duyarlılık % 76.55 ve ortalama özgüllük % 97.04, STARE veri kümesinde ortalama duyarlılık % 77.16 ve ortalama özgüllük % 97.01 olarak bulunmuştur (Azzopardi vd., 2015).

Hassanien ve arkadaşları bulanık c-araçları ve yapay koloni optimizasyon yöntemlerini kullanarak retina damar bölütlenmesi çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bulanık c-araçları ile ana damarları tespit etmişlerdir. Yapay koloni optimizasyonu yöntemi, önerilen yaklaşımda ince detayları saptamak için kullanılmıştır. DRIVE veri kümesinde yapılan deneyler sonucu ortalama doğruluk % 93.88, ortalama duyarlılık % 72.10 ve ortalama özgüllük % 97.10, STARE veri kümesinde ortalama doğruluk % 94.67, ortalama duyarlılık % 64.90 ve ortalama özgüllük % 98.20 değerlerine ulaşmıştır (Hassanien vd., 2015).

Bir diğer retina damar segmentasyonu çalışmasında ikinci dereceden türevlenebilir Gauss ve Hessian matris yöntemi kullanılmıştır. Önerdikleri yaklaşımda Hessian matris yöntemini kullanarak ince damarların bölütlenme başarısı arttırılmıştır. Yöntemin duyarlılık, özgüllük ve doğruluk sonuçlarını DRIVE veri kümesinde sırasıyla % 77.43, % 97.25 ve % 94.76, STARE veri kümesinde % 77.91, % 97.58 ve % 95.54 olarak elde etmişlerdir (Zhang vd., 2016).

Alhussein ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Hessian ve yoğunluk dönüşüm yöntemini birleştirerek kullanmışlardır. İlk olarak fundus görüntülerine KSAHE ve bağlamsal bölge optimizasyonu yöntemlerini uygulamışlardır. İşlenmiş fundus görüntülerindeki gürültüyü gidermek amacıyla morfolojik işlemler ve Wiener filtreme yapılmıştır. Fundus görüntülerindeki ince ve kalın damarları çıkarmak için ayrı ayrı Hessian matrisinden yararlanmışlardır. Kalın damarların daha iyi belirlenebilmesi amacıyla Otsu yöntemini kullanarak damar yapılarının yerel eşik değerlerini hesaplamışlardır. Hessian matris yöntemi sonucu elde edilen ince damar yapıları ile yerel eşikleme işlemi sonucu elde edilen kalın damar yapıları birleştirilmiştir. DRIVE veri kümesinde % 78.51 duyarlılık ve % 95.59 doğruluk sonuçlarına ulaşmışlardır (Alhussein vd., 2020).

Kumar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada retina görüntüsünden kan damarlarının tespiti için 2 boyutlu eşleme filtresi tekniğini kullanmışlardır. Damarları belirginleştirmek amacıyla KSAHE tekniğini tercih etmişlerdir. Damar olmayan yanlış sınıflandırmayı önlemek amacıyla da LoG (Laplace öncesi Gauss yumuşatma) filtresini uygulamışlardır. Böylece retina damarları, eşleme filtresi kullanılarak retina görüntülerinden ayrılmıştır. Önerilen yöntem, STARE veri kümesinde % 76.75 duyarlılık, % 97.99 özgüllük ve % 96.37 doğruluk sonucunu elde etmiştir (Kumar vd., 2016).

Bir diğer retina damar bölütlenmesi çalışmasında, Chebyshev Tip-1 işlemine dayalı 2 boyutlu eşleştirme filtresi önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, geleneksel eşleme filtrelerindeki Gauss olasılık dağılımının yerine kullanılmıştır. Damar - doku zıtlığını arttırmak amacıyla KSAHE yöntemi kullanılmıştır. Damar örgüsündeki gürültüyü azaltmak için son işlemler uygulanmıştır. Önerilen yöntem ile STARE veri kümesinde, % 73.1 duyarlılık, % 97.2 özgüllük ve % 95.3 doğruluk sonuçları elde edilmiştir (Dharmawan vd., 2017). Rodrigues ve arkadaşları otomatik damar bölütlenmesi için morfolojik ve topolojik yaklaşımları kullanmışlardır. Morfolojik operatörlerle daha başarılı sonuçlar elde etmek için retina görüntülerine gri seviye dönüşümü uygulamışlardır. Morfolojik ve

topolojik operatörler belli bir damar örgüsüne ait damar özelliklerini ve bağlanabilirliğini bulmak için kullanılmıştır. Böylece, damar bilgisi içermeyen nesnelere ayırt edilebilir kılmışlar ve damar sınırlarını düzelterek doğru retina damar örgüsüne ulaşabilmişlerdir. Önerilen yöntem, STARE veri kümesi üzerinde % 66.99 duyarlılık, % 97.97 özgüllük ve % 95.68 doğruluk sonuçlarını elde etmiştir (Rodrigues vd., 2016).

Son olarak, Wang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada retina damar bölütlenmesi için çok ölçekli morfoloji ve düğüm noktası takibi yöntemleri tercih edilmiştir. Damar örgüsünün işaretlenmesi amacıyla üst-hat operatörü ve çoklu eşikleme yaklaşımı önerilen yöntemin başarısını arttırmıştır. Önerilen yöntem STARE veri kümesinde % 74.86 duyarlılık, % 96.80 özgüllük ve % 94.60 doğruluk sonuçlarını elde etmiştir (Wang vd., 2018).

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. DRIVE Veri Kümesi (DRIVE Data Set)

DRIVE veri kümesi Staal ve arkadaşları tarafından 2004 yılında toplanmıştır (Staal vd., 2004). Yedisi patolojik bulgulu olmak üzere toplamda 40 adet renkli retina görüntüsü içermektedir. DRIVE veri kümesi, her bir renkli retina görüntüsüne karşılık gelen yaklaşık 540 piksel boyuta sahip maske görüntüsü ve kan damarları işaretlenmiş referans görüntüsü (ground truth) içermektedir. DRIVE veri kümesi, eşit sayıda test (20 adet) ve eğitim (20 adet) kümelerine bölünmüş olarak araştırmacıların kullanımına açılmıştır (DRIVE, 2012). Veri kümesindeki tüm görüntüler 565x584 piksel boyutunda renkli görüntülerden oluşmaktadır.

3.2. STARE Veri Kümesi (STARE Data Set)

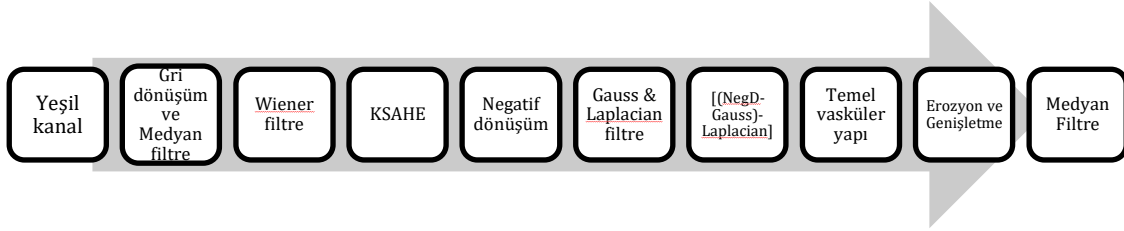
STARE veri kümesi Hoover ve arkadaşları tarafından 2000 yılında toplanmıştır (Hoover vd., 2000). Neredeyse tamamı patolojik bulgulu olmak üzere toplamda 20 adet renkli retina görüntüsü içermektedir. STARE veri kümesi, her bir renkli retina görüntüsüne karşılık gelen maske görüntüsü ve kan damarları işaretlenmiş referans görüntüsü (ground truth) içermektedir. STARE veri kümesi, retina damar bölütlenme çalışmaları için seçilmiş 20 adet görüntüsü araştırmacıların kullanımına açılmıştır (STARE, 2000). Veri kümesindeki tüm görüntüler 700x605 piksel boyutunda renkli görüntülerden oluşmaktadır.

3.3. Matematiksel Morfoloji Kullanarak Retina Damar Bölütlenmesi (Retinal Vessel Segmentation using Mathematical Morphology)

Matematiksel morfoloji kullanılarak retinadaki vasküler yapının ayrılması için renkli fundus görüntüleri RGB kanal ayrıştırma, gri seviye dönüşümü, Wiener filtreleme ve kontrast sınırlı adaptif histogram eşitleme (KSAHE) ön işlemlerinden geçirilmiştir. Ön işlem sonucunda görüntüdeki gürültü seviyesi azaltılmış ve görüntünün zıtlığı artırılmıştır. Matematiksel morfoloji yöntemine başlamadan önce elde edilen gri seviyeli görüntülere negatif dönüşüm uygulanmıştır. Negatif dönüşüm; gri tonlanmış görüntüdeki her bir piksel değerinden 255 çıkarılıp elde edilen sonucun mutlak değerinin tekrar o piksele atanmasıyla gerçekleştirilir. Başka bir deyişle, gri tonlu görüntüde siyah piksel beyaza, beyaz piksel ise siyaha dönüştürülür. Negatif dönüşüm işlemi matematiksel morfoloji kullanılarak elde edilen damar haritasında damar örgüsünü ikili görüntüde beyaz renkte elde edebilmek amacıyla uygulanmıştır.

Matematiksel morfoloji kullanılarak retinadaki vasküler yapının ayrılması iki adımda yapılmıştır. İlk olarak, negatif dönüşüm uygulanmış retina görüntüsüne sırasıyla $2B - 9 \times 9$ Gauss ve $2B - 9 \times 9$ Laplacian filtreleri uygulanarak görüntüler bulanıklaştırılmıştır. Filtreleme işlemlerinin sonucu, negatif dönüştürülmüş retina görüntülerinden sırasıyla matematiksel olarak çıkarılmıştır. Son olarak, fark alma işlemi sonucunda retina görüntüsündeki temel vasküler yapılar elde edilmiştir. Fark alma işlemi sonucunda görüntülerdeki gürültü erozyon işlemi kullanılarak giderilmeye çalışılmıştır. Damar örgüsündeki olası kayıpları engellemek amacıyla da genişletme işlemi uygulanmıştır. Bu sayede, temel vasküler yapıları içeren görüntüde 10 pikselden küçük yapılar silinmiş ve 180 pikselden büyük yapılar da kalınlaştırılmıştır. Fark alma işleminden kaynaklanan gürültüler giderilmiş ve vasküler yapının sürekliliği sağlanmıştır.

Matematiksel morfoloji işleminin sonucunda elde edilen damar örgüsüne; ikili görüntüye çevirme ve $2B - 3 \times 3$ ve 5×5 medyan filtreleme olarak son işlemler uygulanmıştır. İlgili yöntemin akış şeması Şekil 1'de görülmektedir.



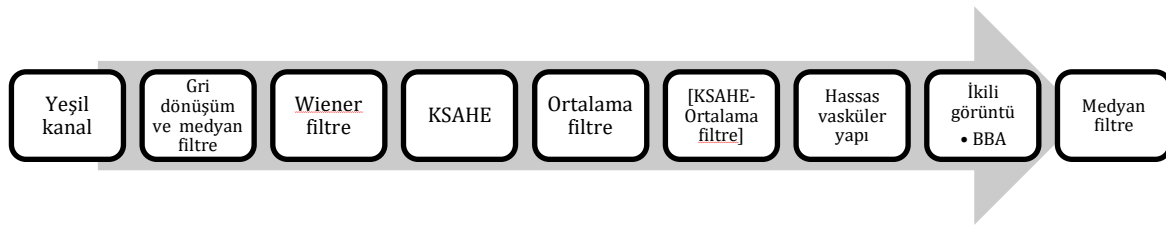
Şekil 1. Matematiksel Morfoloji Yöntemi Akış Şeması (The Flowchart of Mathematical Morphology Method)

3.4. Coye Filtreleme ve Bağlantılı Bileşen Analizi (BBA) Kullanarak Retina Damar Bölütlenmesi (Retinal Vessel Segmentation using Coye Filtering and Connected Component Analysis (CCA))

Coye filtreleme işlemi, Tyler L. Coye tarafından 2015 yılında tasarlanmıştır. Coye filtreleme işlemi dört adımda yapılmaktadır. İlk olarak, renkli retina görüntülerine; RGB kanal ayrıştırma, gri seviye dönüşümü, Wiener filtre ve KSAHE gibi ön işlemler uygulanmıştır. Ön işlem sonucunda görüntüdeki gürültü seviyesi azaltılmış ve görüntünün zıtlığı artırılmıştır. İkinci olarak, ön işlem sonucunda elde edilen görüntüye 2B – 9x9 ortalama filtre uygulanarak retina görüntüleri bulanıklaştırılmıştır. Üçüncü adımda, bulanıklaştırılan retina görüntüsü ile ön işleme sonucunda elde edilen gri seviyeli retina görüntüsü birbirinden matematiksel olarak çıkarılmıştır. Bu işlem sonunda retinadaki vasküler yapıların sınırları belirlenmiştir. Coye filtreleme işleminin esas amacı, her retina görüntüsüne göre adaptif eşik değeri belirlemektir. Belirlenen eşik değeri, vasküler yapının eşik değeridir. Bu sayede retinadaki ince vasküler yapılar daha iyi tespit edilebilmektedir.

Coye filtreleme işlemi sonunda elde edilen görüntü ikili görüntüye dönüştürülmüştür. Elde edilen ikili görüntüye 2B – 3x3 ve 5x5 medyan filtreleme uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bağlantılı bileşen analizi-BBA (Connected component analysis-CCA), düşük aydınlatmalı ya da parlak ışık gürültüsü olan retina görüntülerindeki vasküler yapıyı içine alan daire şeklindeki gürültünün yok edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Herhangi bir damar bilgisi içermeyen hare şeklinde yansımayı ikili görüntüden kaldırmak amacıyla görüntü işlemede sıklıkla tercih edilen bağlantılı bileşen analizi yöntemi uygulanmıştır. DRIVE veri kümesindeki her bir fundus görüntüsüne karşılık gelen ikili görüntülerde adaptif olarak piksel numaraları belirlenmiştir. Belirlenen piksel numaralarının takip ettiği en büyük çapa sahip ve değeri 1 olan piksellerin değerleri 0 ile değiştirilmiştir. Bağlantılı bileşen analizi sonucunda, ikili görüntülerdeki istenmeyen hare şeklindeki yapı başarıyla yok edilerek damar örgüsü bütünlüğü korunmuştur. Coye filtreleme yöntemi ince vasküler yapıları daha iyi tespit edebilirken, kalın vasküler yapıların sürekliliklerinde bozulmalar meydana gelmiştir. Damar sürekliliğini sağlamak amacıyla ikili görüntülere 3x3 ve 5x5 maske boyutuna sahip medyan filtreleme uygulanmıştır. İlgili yöntemin akış şeması Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Coye Filtreleme Yöntemi Akış Şeması (The Flowchart of Coye Filter Method)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

KSAHE, tıbbi görüntülerdeki kontrastı iyileştirmek ve ilgilenilen doku görünürliğini arttırmak amacıyla yaygın olarak kullanılan denetimsiz görüntü işleme yöntemidir. KSAHE yönteminde uygun kontrast üst sınır değerinin belirlenmesi, yöntemin başarısını arttırmaktadır.

DRIVE veri kümesinin eğitim kümesi kullanılarak uygun kontrast üst sınır değeri belirlemek amacıyla, kontrast üst sınır değerinin doğruluk ölçütü üzerindeki değişimi incelenmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{GP+GN}{GP+YP+YN+GN} \quad (1)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{GP}{GP+YN} \quad (2)$$

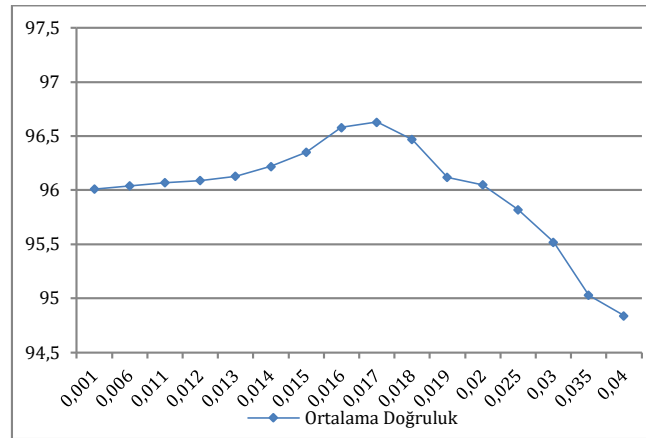
$$\text{Özgüllük} = \frac{GN}{GN+YP} \quad (3)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{GP}{GP+YP} \quad (4)$$

Verilen denklemlerde YP yanlış pozitif örnekleri, GP gerçek pozitif örnekleri, YN yanlış negatifleri ve GN gerçek negatifleri temsil etmektedir.

Uygun kontrast üst sınır değerini tespit etmek için DRIVE'ın eğitim kümesindeki (20 adet) her bir görüntüsüne sırasıyla yeşil kanal ayrışması, gri seviye dönüşümü, KSAHE, adaptif retina damar eşik değeri hesaplama ve ikili görüntü dönüşümü uygulanmıştır. Retina görüntülerine sıralanan işlemler dışında herhangi bir yöntem uygulanmamıştır.

Retina görüntülerine 8x8 karo boyutunda KSAHE yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan yöntemdeki kontrast üst sınır değeri 0,001'den başlayarak 0,040'a kadar 0,001'lik artış miktarıyla DRIVE eğitim kümesindeki tüm görüntülere uygulanmıştır. Wiener, medyan, ortalama vb. filtre gibi araçların en iyi performans için parametreleri ise 3x3, 5x5 ve 9x9 gibi farklı maske boyutları için denenerek bulunmuştur. Her bir parametre grubu değerine karşılık 20 görüntü için ortalama doğrulukta değer değişimi incelenmiş ve en iyi performansı veren parametreler seçilmiştir.

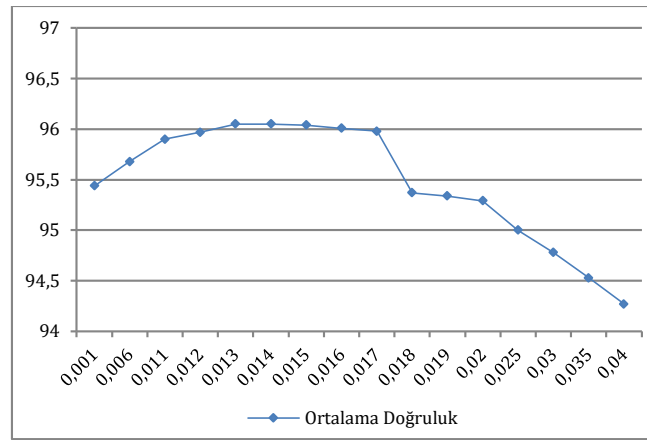


Şekil 3. DRIVE Veri Kümesi için Kontrast Üst Sınırın Doğruluğa Etkisi (The Effect of Clip Limit on Accuracy for DRIVE Data Set)

Şekil 3'de KSAHE yöntemindeki kontrast üst sınır değerinin DRIVE eğitim kümesindeki retina görüntülerinin ortalama doğruluk değerine etkisi gösterilmiştir. Kontrast üst sınır değerinin 0,001 ile 0,017 arasındaki değişimi, ortalama doğrulukta artış eğilimi görülmesini sağlamıştır. Ortalama doğruluk % 96,63 sonucuna 0,017 kontrast üst sınır değeriyle ulaşmıştır. Ortalama doğrulukta kontrast üst sınırın 0,017 değerinden itibaren azalma eğilimi gözlenmiştir. Anlamlı bulgular doğrultusunda, retina damar segmentasyonu için KSAHE yönteminin 8x8 karo boyu ve 0,017 kontrast üst sınır değeriyle kullanılması uygun görülmüştür.

STARE veri kümesinde de uygun kontrast üst sınır değerini tespit etmek için veri kümesindeki her bir retina görüntüsüne sırasıyla yeşil kanal ayrışması, gri seviye dönüşümü, KSAHE, adaptif retina damar eşik değeri hesaplama ve ikili görüntü dönüşümü uygulanmıştır. Retina görüntülerine sıralanan işlemler dışında herhangi bir yöntem uygulanmamıştır.

STARE veri kümesindeki retina görüntülerine KSAHE yöntemi 8x8 karo boyutunda uygulanmıştır. Uygulanan yöntemdeki kontrast üst sınır değeri 0,001'den başlayarak 0,040'a kadar 0,001'lik artış miktarıyla tüm görüntülere uygulanmıştır. Her bir kontrast üst sınır değerine karşılık 20 görüntü için ortalama doğrulukta değer değişimi incelenmiştir.



Şekil 4. STARE Veri Kümesi için Kontrast Üst Sınırın Doğruluğa Etkisi (The Effect of Clip Limit on Accuracy for STARE Data Set)

Şekil 4'te KSAHE yöntemindeki kontrast üst sınır değerinin STARE veri kümesindeki retina görüntülerinin ortalama doğruluk değerine etkisi gösterilmiştir. Kontrast üst sınır değerinin 0,001 ile 0,013 arasındaki değişimi, ortalama doğrulukta artış eğilimi görülmesini sağlamıştır. Ortalama doğruluk % 96,05 sonucuna 0,013 ve 0,014 kontrast üst sınır değeriyle ulaşmıştır. Veri kümesindeki retina görüntülerinin bulguları detaylı incelendiğinde ortalama doğruluk 0,013 kontrast üst sınır değerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Ortalama doğrulukta kontrast üst sınırın 0,015 değerinden itibaren azalma eğilimi gözlenmiştir. Anlamlı bulgular doğrultusunda, STARE veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen retina damar segmentasyonu için KSAHE yönteminin 8x8 karo boyu ve 0,013 kontrast üst sınır değeriyle kullanılması uygun görülmüştür.

Matematiksel morfoloji yöntemini kullanarak, retina damar bölütlenme işleminin başarıyla yapılabilmesi için DRIVE eğitim kümesindeki renkli retina görüntülerine yeşil kanal ayrışması ve gri seviye dönüşümü uygulanmıştır. Gri tonlanmış retina görüntülerinin gürültüsünü gidermek amacıyla 3x3 maske boyutuna sahip medyan filtreleme ve literatürde de doğruluğu kanıtlanmış 2x2 maske boyutunda ve 0,015 gürültü gücüyle Wiener filtreleme işlemi uygulanmıştır (Alhusein vd., 2020; Santos vd., 2020; Sahu vd., 2019). Gürültüsü giderilmiş gri tonlu retina görüntülerindeki damar - doku zıtlığını arttırmak amacıyla kontrast üst sınır değeri 0,017 olarak belirlenmiş 8x8 karo boyutunda KSAHE uygulanmıştır. KSAHE işlemi ardından gereken matematiksel morfoloji işlemi tamamlanmıştır. Morfolojik işlem sonrasında elde edilen damar görüntülerindeki vasküler yapıların eşik değeri her görüntü için adaptif olarak hesaplanarak ikili görüntüye ulaşılmıştır. Elde edilen görüntüdeki kusurları gidermek ve damar sürekliliğini sağlamak amacıyla ikili görüntülere son işlem olarak medyan filtreleme işlemi uygulanmıştır.

Tablo 1. DRIVE Veri Kümesi için Matematiksel Morfoloji Yöntemi Sonuçları (The Results of Mathematical Morphology Method for DRIVE Data Set)

YÖNTEM	DUYARLILIK	ÖZGÜLLÜK	DOĞRULUK	KESİNLİK
Wiener Filtresiz - Medyan 3x3	0.6031	0.9886	0.9547	0.8469
Wiener Filtresiz - Medyan 5x5	0.5728	0.9907	0.9540	0.8673
Wiener Filtreli - Medyan 3x3	0.6291	0.9876	0.9559	0.8311
Wiener Filtreli - Medyan 5x5	0.5968	0.9852	0.9533	0.8101

Tablo 1'de DRIVE veri kümesi için verilen özet sonuçlardan anlaşıldığı üzere gürültü gidermek amacıyla uygulanan Wiener filtreleme ve son işlem olarak uygulanan 3x3 maske boyutuna sahip Medyan filtreleme işlemiyle elde edilen ortalama duyarlılık % 62,91 ve ortalama doğruluk % 95,59 oranları diğerlerine göre daha başarılı bulunmuştur. Literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen ortalama özgüllük % 98,76 ve ortalama kesinlik % 83,11 değerleri de kabul edilebilir başarı göstermiştir. Son olarak, retina görüntülerine matematiksel morfoloji yöntemi uygulanarak gerçekleştirilen retina damar bölütleme işlemi görüntü başına ortalama 1,3369 sn sürmüştür.

Matematiksel morfoloji yöntemini kullanarak, retina damar bölütlenme işleminin başarıyla yapılabilmesi için STARE veri kümesindeki renkli retina görüntülerine yeşil kanal ayrışması ve gri seviye dönüşümü uygulanmıştır. Gri tonlanmış retina görüntülerinin gürültüsünü gidermek amacıyla 3x3 maske boyutuna sahip medyan filtreleme ve literatürde de doğruluğu kanıtlanmış 2x2 maske boyutunda ve 0,015 gürültü gücüyle Wiener filtreleme işlemi uygulanmıştır (Alhusein vd., 2020; Santos vd., 2020; Sahu vd., 2019). Gürültüsü giderilmiş gri

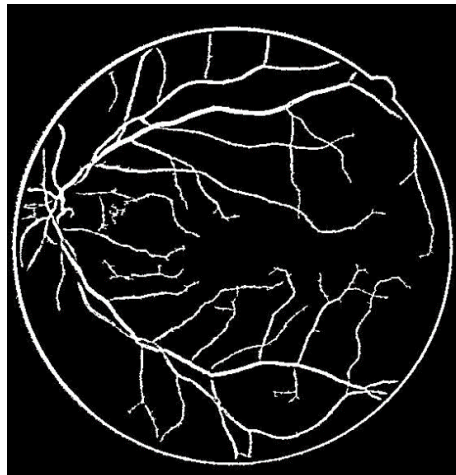
tonlu retina görüntülerindeki damar – doku zıtlığını arttırmak amacıyla kontrast üst sınır değeri 0,013 olarak belirlenmiş 8x8 karo boyutunda KSAHE uygulanmıştır. KSAHE işlemi ardından gereken matematiksel morfoloji işlemi tamamlanmıştır. Morfolojik işlem sonrasında elde edilen damar görüntülerindeki vasküler yapıların eşik değeri her görüntü için adaptif olarak hesaplanarak ikili görüntüye ulaşılmıştır. Elde edilen görüntüdeki kusurları gidermek ve damar sürekliliğini sağlamak için ikili görüntülere son işlem olarak medyan filtreleme uygulanmıştır.

Tablo 2. STARE Veri Kümesi için Matematiksel Morfoloji Yöntemi Sonuçları (The Results of Mathematical Morphology Method for STARE Data Set)

YÖNTEM	DUYARLILIK	ÖZGÜLLÜK	DOĞRULUK	KESİNLİK
Wiener Filtresiz – Medyan 3x3	0.6986	0.9764	0.9553	0.7261
Wiener Filtresiz – Medyan 5x5	0.6924	0.9793	0.9570	0.7485
Wiener Filtreli – Medyan 3x3	0.7082	0.9763	0.9578	0.7188
Wiener Filtreli – Medyan 5x5	0.6858	0.9792	0.9563	0.7409

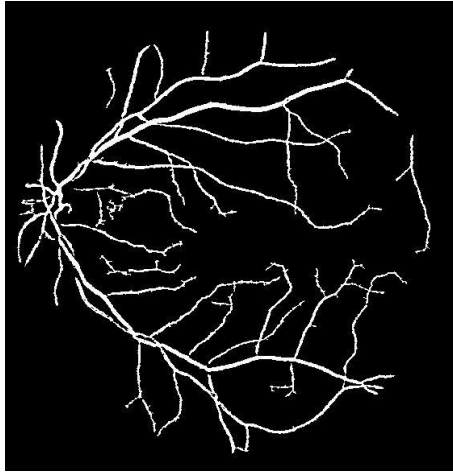
Tablo 2’de STARE veri kümesi için verilen özet sonuçlardan anlaşıldığı üzere gürültü gidermek amacıyla uygulanan Wiener filtreleme ve son işlem olarak uygulanan 3x3 maske boyutuna sahip Medyan filtreleme işlemiyle elde edilen ortalama duyarlılık % 70.82 ve ortalama doğruluk % 95.78 oranları diğerlerine göre daha başarılı bulunmuştur. Literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen ortalama özgüllük % 97.63 ve ortalama kesinlik % 71.88 değerleri de kabul edilebilir başarı göstermiştir. Son olarak, retina görüntülerine matematiksel morfoloji yöntemi uygulanarak gerçekleştirilen retina damar bölütleme işlemi görüntü başına ortalama 1,3274 sn sürmüştür.

Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemini kullanarak retina damar bölütlemesi yapabilmek için DRIVE eğitim veri kümesinin renkli retina görüntülerine RGB kanal ayrıştırılması uygulanmış ve yeşil kanal tercih edilmiştir. Yeşil kanal tercih edilerek görüntülerdeki gürültü ve aydınlatma kusurları giderilmiş ve ön işlem olarak Wiener filtreye ihtiyaç duyulmamıştır, fakat olası küçük boyutlu gürültüler için 3x3 maske boyutunda medyan filtre uygulanmıştır. Veri kümesindeki yeşil kanallı görüntülere gri seviye dönüşümü ve 0,017 kontrast üst sınır değeriyle 8x8 karo boyutunda KSAHE uygulanarak işleme devam edilmiştir. Coye filtreleme yöntemi sonrasında elde edilen damar görüntülerindeki vasküler yapıların eşik değeri her görüntü için adaptif olarak hesaplanarak ikili (siyah-beyaz) görüntü elde edilmiştir.



Şekil 5. BBA-sız İkili Görüntü (Binary Image without CCA)

Coye filtreleme işlemi sonucunda DRIVE veri kümesinin 21. görüntüsü için elde edilen ikili görüntü Şekil 5’te verilmiştir. Coye filtreleme yöntemi ince vasküler yapıları tespit etmede daha başarılı bulunmuştur. Yöntemin başarısına rağmen, ikili görüntülerde retina damar örgüsünü içine alan hare şeklinde yansımalar (retina sınırı) belirlemiştir. Herhangi bir damar bilgisi içermeyen hare şeklinde yansımayı ikili görüntüden kaldırmak amacıyla görüntü işlemede sıklıkla tercih edilen bağlantılı bileşen analizi yöntemi uygulanmıştır. DRIVE veri kümesindeki her bir fundus görüntüsüne karşılık gelen ikili görüntülerde adaptif olarak piksel numaraları belirlenmiştir. Belirlenen piksel numaralarının takip ettiği en büyük çapa sahip ve değeri 1 olan piksellerin değerleri 0 ile değiştirilmiştir. Bağlantılı bileşen analizi sonucunda, ikili görüntülerdeki istenmeyen hare şeklindeki yapı başarıyla yok edilerek damar örgüsü bütünlüğü korunmuştur.



Şekil 6. BBA-lı İkili Görüntü (Binary Image with CCA)

Şekil 6'da görüldüğü üzere DRIVE veri kümesi 21. görüntüsü için Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi kullanılarak retina damar örgüsü elde edilmiştir. Coye filtreleme yöntemi ince vasküler yapıları daha iyi tespit edebilirken, kalın vasküler yapıların sürekliliklerinde bozulmalar meydana gelmiştir. Damar sürekliliğini sağlamak amacıyla ikili görüntülere medyan filtreleme uygulanmıştır.

Tablo 3. DRIVE Veri Kümesi için Coye Filtreleme ve BBA Yöntemi Sonuçları (The Results of Coye Filter with CCA for DRIVE Data Set)

YÖNTEM	DUYARLILIK	ÖZGÜLLÜK	DOĞRULUK	KESİNLİK
Wiener Filtresiz – Medyan 3x3	0.6320	0.9864	0.9551	0.8217
Wiener Filtresiz – Medyan 5x5	0.5698	0.9878	0.9509	0.8380
Wiener Filtreli – Medyan 3x3	0.6299	0.9824	0.9514	0.7826
Wiener Filtreli – Medyan 5x5	0.5871	0.9861	0.9511	0.8108

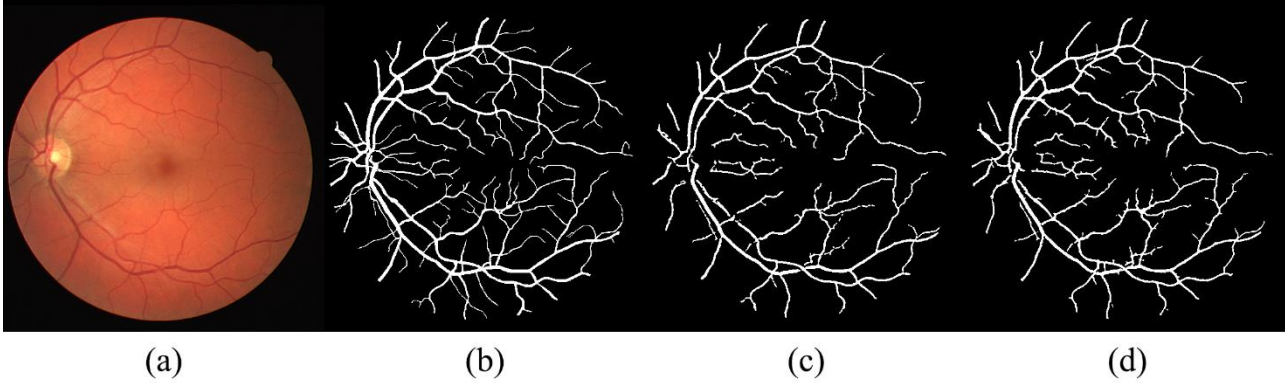
Tablo 3'te DRIVE veri kümesi için verilen özet sonuçlardan anlaşıldığı üzere, yeşil kanal tercih edilerek görüntülerdeki gürültü ve aydınlatma kusurları giderilmiştir. Vasküler yapıların sürekliliğini sağlamak amacıyla son işlem olarak uygulanan 3x3 maske boyutuna sahip medyan filtreleme işlemiyle elde edilen ortalama duyarlılık % 63.20 ve ortalama doğruluk % 95.51 oranları diğerlerine göre daha başarılı bulunmuştur. Literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen ortalama özgüllük % 98.64 ve ortalama kesinlik % 82.17 değerleri de kabul edilebilir başarı göstermiştir. Wiener filtrenin Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi sonuçlarını iyileştirmede başarılı gözlenmiştir. Son olarak, renkli retina görüntülerine Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi uygulanarak gerçekleştirilen retina damar bölütlenmesi işlemi görüntü başına ortalama 1,2914 sn sürmüştür.

Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemini kullanarak retina damar bölütlenmesi yapabilmek için STARE veri kümesinde de renkli retina görüntülerine RGB kanal ayrıştırılması uygulanmış ve yeşil kanal tercih edilmiştir. Yeşil kanal tercih edilerek görüntülerdeki gürültü ve aydınlatma kusurları giderilmiş ve ön işlem olarak Wiener filtreye ihtiyaç duyulmamıştır, fakat olası küçük boyutlu gürültüler için 3x3 maske boyutunda medyan filtre uygulanmıştır. Veri kümesindeki yeşil kanallı görüntülere gri seviye dönüşümü ve 0,013 kontrast üst sınır değeriyle 8x8 karo boyutunda KSAHE uygulanarak işleme devam edilmiştir. Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi sonrasında elde edilen damar görüntülerindeki vasküler yapıların eşik değeri her görüntü için adaptif olarak hesaplanarak ikili (siyah-beyaz) görüntü elde edilmiştir.

Tablo 4. STARE Veri Kümesi için Coye Filtreleme ve BBA Yöntemi Sonuçları (The Results of Coye Filter with CCA for STARE Data Set)

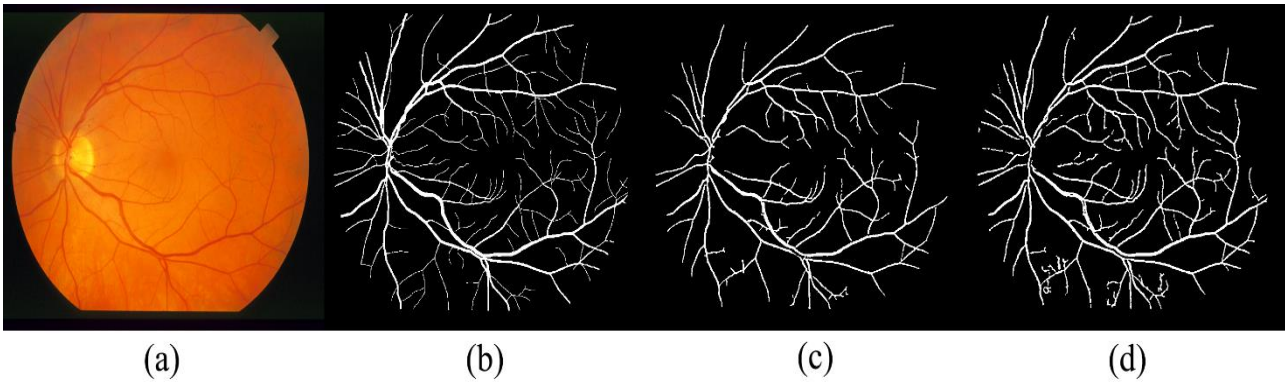
YÖNTEM	DUYARLILIK	ÖZGÜLLÜK	DOĞRULUK	KESİNLİK
Wiener Filtresiz – Medyan 3x3	0.8062	0.9576	0.9507	0.6294
Wiener Filtresiz – Medyan 5x5	0.7841	0.9651	0.9450	0.6694
Wiener Filtreli – Medyan 3x3	0.7997	0.9453	0.9335	0.5893
Wiener Filtreli – Medyan 5x5	0.7986	0.9509	0.9386	0.6164

Tablo 4'te STARE veri kümesi için verilen özet sonuçlardan anlaşıldığı üzere, yeşil kanal tercih edilerek görüntülerdeki gürültü ve aydınlatma kusurları giderilmiştir. Vasküler yapıların sürekliliğini sağlamak amacıyla son işlem olarak uygulanan 3x3 maske boyutuna sahip medyan filtreleme işlemiyle elde edilen ortalama duyarlılık % 80.62 ve ortalama doğruluk % 95.07 oranları diğerlerine göre daha başarılı bulunmuştur. Literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen ortalama özgüllük % 95.76 sonucuyla kabul edilebilir başarı göstermiştir. Wiener filtrenin Coyle filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi sonuçlarını iyileştirmediği gözlenmiştir. Son olarak, retina görüntülerine Coyle filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi uygulanarak gerçekleştirilen retina damar bölütlenmesi işlemi görüntü başına ortalama 1,2749 sn sürmüştür.



Şekil 7. DRIVE Veri Kümesi 35. Görüntü için Görsel Karşılaştırma Sonucu; a) Renkli fundus görüntüsü, b) Referans damar görüntüsü, c) Matematiksel morfoloji sonucu, d) Coyle filtreleme ve BBA sonucu (DRIVE Dataset Visual Comparison Result for Image 35; a) Color fundus image, b) Ground truth image, c) Mathematical morphology result, d) Coyle filtering and CCA result)

Şekil 7'de görüldüğü üzere DRIVE veri kümesi 35. görüntüsü için matematiksel morfoloji ve Coyle filtreleme-BBA yöntemi kullanılarak retina damar örgüsü elde edilmiştir. Coyle filtreleme-BBA yöntemi ince vasküler yapıları daha iyi tespit edebilmiştir. Matematiksel morfoloji yöntemi için sırasıyla duyarlılık, özgüllük, doğruluk ve kesinlik değerleri 0.7020, 0.9903, 0.9633 ve 0.8674, Coyle filtreleme-BBA yöntemi için sırasıyla duyarlılık, özgüllük, doğruluk ve kesinlik değerleri 0.7116, 0.9882, 0.9626 ve 0.8488 olarak bulunmuştur.



Şekil 8. STARE Veri Kümesi 11. Görüntü için Görsel Karşılaştırma Sonucu; a) Renkli fundus görüntüsü, b) Referans damar görüntüsü, c) Matematiksel morfoloji sonucu, d) Coyle filtreleme ve BBA sonucu (STARE Dataset Visual Comparison Result for Image 11; a) Color fundus image, b) Ground truth image, c) Mathematical morphology result, d) Coyle filtering and CCA result)

Şekil 8'de görüldüğü üzere STARE veri kümesi 11. görüntüsü için matematiksel morfoloji ve Coyle filtreleme-BBA yöntemi kullanılarak retina damar örgüsü elde edilmiştir. Coyle filtreleme-BBA yöntemi ince vasküler yapıları daha detaylı tespit edebilmiştir fakat Şekil 8(d)' de alt kısımdaki ana damarda kesiklik ve iç boşluklar oluşmuştur. Ana damar yapılarında matematiksel morfoloji yönteminde bütünlük daha fazla sağlanabilmiştir. Matematiksel morfoloji yöntemi için sırasıyla duyarlılık, özgüllük, doğruluk ve kesinlik değerleri 0.6838, 0.9862, 0.9647 ve 0.8113, Coyle filtreleme-BBA yöntemi için sırasıyla duyarlılık, özgüllük, doğruluk ve kesinlik değerleri 0.7930, 0.9806, 0.9620 ve 0.7988 olarak bulunmuştur. STARE veri kümesinde DRIVE veri kümesine göre ince vasküler yapılar daha hassas olduğu için Coyle filtre-BBA yönteminin faydası bu görüntü için duyarlılık metriğinde matematiksel morfoloji yöntemine göre yaklaşık 11 puan avantaj sağlamıştır.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Matematiksel morfoloji yöntemi kullanılarak DRIVE veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen retina damar bölütlenmesi ortalama duyarlılıkta % 62.91, ortalama özgüllükte % 98.76, ortalama doğrulukta % 95.59 ve

ortalama kesinlikte % 83.11 değerleriyle literatürdeki denetimsiz yaklaşımlar ile kıyaslandığında en iyi özgüllük ve doğruluk bulgularını elde etmiştir. Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi kullanılarak DRIVE veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen retina damar bölütlemesi için ortalama duyarlılıkta % 63.20, ortalama özgüllükte % 98.64, ortalama doğrulukta % 95.51 ve ortalama kesinlikte % 82.17 değerleri elde edilmiştir. İlgili yöntemde duyarlılık metriği dışında matematiksel morfoloji yaklaşımından daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, literatürdeki denetimsiz öğrenme çalışmalarına kıyasla DRIVE veri kümesi üzerinde en iyi ortalama doğruluk Alhussein ve arkadaşlarının çalışması (Alhussein vd., 2020) ile paylaşılmaktadır.

Matematiksel morfoloji yöntemi kullanılarak STARE veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen retina damar bölütlenmesi ortalama duyarlılıkta % 70.82, ortalama özgüllükte % 97.63, ortalama doğrulukta % 95.78 ve ortalama kesinlikte % 71.88 değerleriyle literatürdeki denetimsiz yaklaşımlar ile kıyaslandığında en iyi 2. doğruluk bulgularını elde etmiştir. Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi kullanılarak STARE veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen retina damar bölütlemesi için ortalama duyarlılıkta % 80.62, ortalama özgüllükte % 95.76, ortalama doğrulukta % 95.07 ve ortalama kesinlikte % 62.94 değerleri elde edilmiş ve literatürdeki denetimsiz yaklaşımlar ile kıyaslandığında ortalama duyarlılıkta en başarılı sonuç elde edilmiştir. İlgili yöntemde duyarlılık metriği dışında matematiksel morfoloji yaklaşımından daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Matematiksel morfoloji yöntemi, elde edilen retina damar örgüsünde kalın vasküler yapıların tespit edilmesinde ve tespit edilen yapıların sürekliliğinin sağlanmasında başarılı iken ince vasküler yapıları tespit etmede Coye filtreleme yaklaşımına göre yetersiz kalmıştır. Coye filtreleme yöntemi kullanılarak elde edilen retina damar örgüsünde ise ince vasküler yapılar yüksek başarı ile belirlenmektedir. Ancak aydınlatma kusurları ve düşük kaliteli fundus görüntülerinde ise özellikle retina sınırındaki ışık yansımaları (herhangi bir damar bilgisi taşımadığı halde) vasküler yapı olarak işaretlenmekte ve yöntemin yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Coye filtreleme yaklaşımının önerilen bağlantılı bileşen analiziyle birlikte kullanılması sonucu ikili görüntülerdeki istenmeyen hare şeklindeki yapı başarıyla yok edilmiştir. Böylece damar örgüsü bütünlüğü korunmuş olup Coye filtreleme yönteminin başarısının artırılmasına katkı sağlanmıştır.

DRIVE ve STARE veri kümeleri üzerindeki detaylı analiz sonucu Wiener filtrenin Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi sonuçlarını iyileştirmediği gözlenmiştir. Coye filtrenin çıktısı olan ikili görüntülerdeki istenmeyen hare şeklindeki yapı önerilen bağlantılı bileşen analizi sonucunda başarıyla yok edilerek damar örgüsü bütünlüğü korunmuştur.

Glokom (Lim vd., 2015) ve diyabetik retinopati (Özçelik vd., 2021) gibi göz hastalıkları bireylerin yaşam kalitesini ciddi ölçekte etkileyebilmektedir. Bu hastalıkların uzmanlar tarafından retina görüntülerinden tespit edilebilmesi görüntü başına ortalama 8 dakika sürmektedir (Lim vd., 2015). Derin öğrenme tabanlı çalışmalar da yoğun miktarda etiketli veriye (Li vd., 2021) ve dolayısıyla uzun çalışma sürelerine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu çalışmada elde edilen ortalama doğruluk değerleri ve işlem süreleri dikkate alındığında önerilen yöntemin ön işlem adımı olarak kullanılarak performans artışı ve zaman tasarrufu sağlayabileceği öngörülmektedir. Ayrıca, literatürdeki denetimsiz çalışmalardan Zhang ve arkadaşlarının çalışmasına kıyasla önerilen çalışma ile ortalama işlem süresi görüntü başına 10 saniyeden (Zhang vd., 2010) 1.3 saniyeye düşürülmüştür.

Gelecek çalışmalarda matematiksel morfoloji ve Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi benzeri yöntemlerin tahminleri birleştirilerek daha iyi sonuçlara ulaşılması hedeflenmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akbar S., Sharif M., Akram M.U., Saba T., Mahmood T., 2019. Automated techniques for blood vessels segmentation through fundus retinal images: A review. *Microscopy Research and Technique*, 82 (2): 153-170.
- Alhussein M., Aurangzeb K., Haider S.I., 2020. An unsupervised retinal vessel segmentation using Hessian and intensity based approach. *IEEE Access*, 8: 165056-165070.
- Azzopardi G., Strisciuglio N., Vento M., Petkov N., 2015. Trainable COSFIRE filters for vessel delineation with application to retinal images. *Medical Image Analysis*, 19 (1): 46-57.
- Dharmawan D. A. and Ng B. P., 2017. A new two-dimensional matched filter based on the modified Chebyshev type I function for retinal vessels detection. In *Proc. 39th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. (EMBC)*, pp. 369-372.

- Dos Santos J.C.M., Carrijo G.A., dos Santos Cardoso C.D.F., Ferreira J.C., Sousa P.M. ve Patrocinio AC., 2020. Fundus image quality enhancement for blood vessel detection via a neural network using CLAHE and Wiener Filter. *Research on Biomedical Engineering*, 36: 107-119.
- DRIVE: Digital Retinal Images for Vessel Extraction, 2012. 20 Ekim 2021 tarihinde <https://drive.grand-challenge.org/> adresinden erişildi.
- Fraz M.M., Barman S.A., Remagnino P., Hoppe A., Basit A. Uyyanonvara B., Rudnicka AR., Owen CG., 2012. An approach to localize the retinal blood vessels using bit planes and centerline detection. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 108 (2): 600-616.
- Hassanien A.E., Emary E., Zawbaa H.M., 2015. Retinal blood vessel localization approach based on bee colony swarm optimization, fuzzy c-means and pattern search. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 31: 186-196.
- Hoover A. D., Kouznetsova V., Goldbaum M., 2000. Locating blood vessels in retinal images by piecewise threshold probing of a matched filter response. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 19, no. 3, pp. 203-210.
- Kumar D., Pramanik A., Kar S. S., Maity S. P., 2016. Retinal blood vessel segmentation using matched filter and laplacian of Gaussian. In *Proc. Int. Conf. Signal Process. Commun. (SPCOM)*, pp. 1-5.
- Li T., Bo W., Hu C., Kang H., Liu H., Wang K., Fu H., 2021. Applications of deep learning in fundus images: A review. *Medical Image Analysis*, 69: 101971.
- Lim G., Cheng Y., Hsu W., Lee M. L., 2015. Integrated optic disc and cup segmentation with deep learning. In *2015 IEEE 27th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, pp. 162-169.
- Özçelik Y.B. and Altan A., 2021. Diyabetik retinopati teşhisi için fundus görüntülerinin derin öğrenme tabanlı sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 29: 156-167.
- Retinal Diseases (2020, 31 Mart). 20 Ekim 2021 tarihinde <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/retinal-diseases/symptoms-causes/syc-20355825> adresinden erişildi.
- Rodrigues J., Bezerra N., 2016. Retinal vessel segmentation using parallel grayscale skeletonization algorithm and mathematical morphology. In *Proc. 29th SIBGRAPI Conf. Graph., Patterns Images (SIBGRAPI)*, pp. 17-24.
- Sahu S., Singh A.K., Ghrera S.P., Elhoseny M., 2019. An approach for de-noising and contrast enhancement of retinal fundus image using CLAHE. *Optics & Laser Technology*, 110: 87-98.
- Staal J., Abramoff M.D., Niemeijer M., Viergever M.A., Van Ginneken B., 2004. Ridge based vessel segmentation in color images of the retina. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 23 (4): 501-509.
- STARE: Structured Analysis of The Retina, 2000. 20 Ekim 2021 tarihinde <http://cecas.clemson.edu/~ahoover/stare/> adresinden erişildi.
- Wang, W., Zhang, J., Wu, W., Zhou, S., 2018. An automatic approach for retinal vessel segmentation by multi-scale morphology and seed point tracking. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, 8(2), 262-274.
- Willoughby C.E., Ponzin D., Ferrari S., Lobo A., Landau K., Omidi Y., 2010. Anatomy and physiology of the human eye: effects of mucopolysaccharidoses disease on structure and function: a review. *Clinical & Experimental Ophthalmology*, 38:2-11.
- You X., Peng Q., Yuan Y., Cheung Y.M., Lei J., 2011. Segmentation of retinal blood vessels using the radial projection and semi-supervised approach. *Pattern Recognition*, 44 (10-11): 2314-2324.
- Zhang B., Zhang L., Zhang L., Karray F., 2010. Retinal vessel extraction by matched filter with first-order derivative of Gaussian. *Computers in Biology and Medicine*, 40 (4): 438-445.
- Zhang J., Dashtbozorg B., Bekkers E., Pluim J.P., Duits R., 2016. Robust retinal vessel segmentation via locally adaptive derivative frames in orientation scores. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 35 (12): 2631-2644.
- Zhao Y.Q., Wang X.H., Wang X.F., Shih F.Y., 2014. Retinal vessels segmentation based on level set and region growing. *Pattern Recognition*, 47 (7): 2437-2446.