

## Retina görüntülerinden kan damarlarının segmentasyonu

### *Segmentation of blood vessels from retinal images*

Yunus Kökver<sup>1</sup>, Halil Murat Ünver<sup>2</sup>, Ebru Aydoğan Duman<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi Elmadağ Meslek Yüksekokulu, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Kırıkkale Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Geliş Tarihi: 15.11.2017

Kabul Tarihi: 29.11.2017

Doi: 10.21601/ortadogutipdergisi.352987

### Öz

Retina görüntülerinden hastalık teşhisinin yapılabilmesinin ilk adımı kan damarlarının segmente edilmesidir. Bu çalışmada retina görüntüleri üzerinden kan damarlarının çıkartılması üzerine yapılan çalışmaları incelemeyi amaçlanmaktadır. Bu nedenle literatürdeki mevcut makaleler kullanılan yöntemleri belirlemeye odaklanarak sistematik olarak derlenmiştir. Damar segmentasyonu problemine çözüm getiren ve literatürde bu alandaki ilk çalışmadan başlayarak son zamanlara kadar yapılan çalışmalardaki çözümler bazı kriterler dahilinde değerlendirilmiştir. Bu derleme çalışmasından anlaşılıyor ki, yıllar içerisinde segmentasyon için kullanılan yöntemlerde ciddi bir ilerleme kaydedilmiş ve retina görüntülerinden tüm damarların segmentasyonu kolaylıkla yapılabilir düzeye gelmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Retina, damar segmentasyonu, makine öğrenmesi, filtreleme, morfolojik operatörler

### Abstract

The first step in diagnosing the disease from retinal images is the segmentation of blood vessels. In this study, it was aimed to investigate the extraction of blood vessels from retinal images. For this reason, existing articles in the literature have been compiled systematically, focusing on the identification of the methods used. Starting from the first study in the literature about this problem, solutions to the problem of vessel segmentation and studies until recently have been evaluated within the framework of some criteria. It can be concluded from this review, significant progress has been made in the methods used for segmentation over the years and segmentation of all vessels from retinal images has been made easily.

**Keywords:** Retina, vessel segmentation, machine learning, filtering, morphological operators

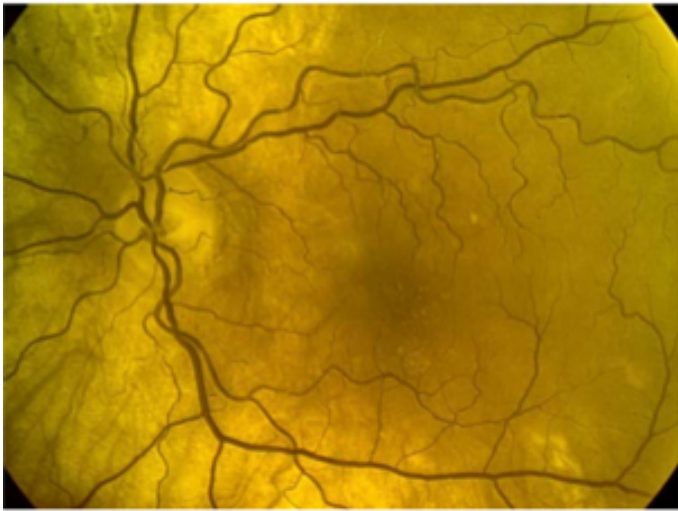
### Giriş

Medikal görüntü işleme ve görüntü analizi, pek çok hastalığın klinik tanısında ve tedaviye yardımcı olma amaçlı çalışılmaktadır. Bu yönüyle medikal görüntü analizi, bilim insanlarının etkin bir çalışma alanı olmuştur. Geçmişten günümüze görüntü analizinde segmentasyon işlemi pek çok araştırmanın konusu olmuştur. Resimlerin anlaşılmasında ve anlamlı hale gelmesinde sadeleştirme amaçlı kullanılan segmentasyon yüz tanıma, parmak izi tanıma, me-

dikal görüntülerde tümör tespiti ve retina görüntülerinden hastalık veya anomali tespiti gibi çok fazla alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Segmentasyon işlemi farklı türlerde resimler üzerinde uygulanmaktadır ve retina görüntülerine uygulandığında retina damar segmentasyonu olarak adlandırılmaktadır. Retina damar segmentasyonu, retina resminde kan damarları ile retinanın arka planının ayırt edilmesine karşılık gelmektedir. Retina damar segmentasyonu ve damarlara ait

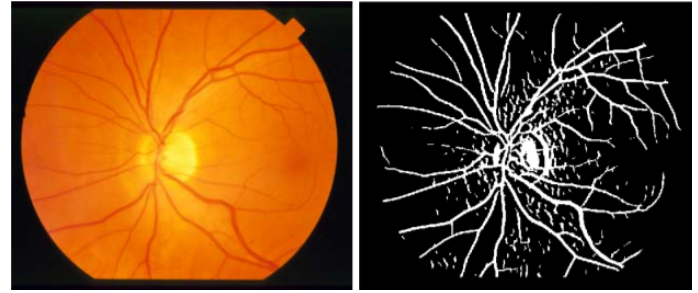
uzunluğun, kalınlığın, dallanma noktalarının ve açılarının tespit edilmesi şeker hastalığı, hipertansiyon ve çeşitli göz hastalıklarının teşhisinde kullanılmaktadır [1]. Damarların otomatik tespiti ve analizi, diyabetik retinopati, prematüre retinopatisinin değerlendirilmesi, foveal avasküler bölge saptama, arteriollerde daralma, damar eğrilik ve hipertansif retinopati ile ilişkisi, damar çapı ölçümü hipertansiyon tanısı ile ilişkisi ve bilgisayar destekli lazer cerrahisi için tarama programlarının geliştirilmesine yardımcı olabilir [1, 2]. Ayrıca retina damar segmentasyonu, oftalmik bozuklukların teşhisinde bilgisayar destekli otomatik bir sistemin geliştirilmesinde ilk adım olarak kabul edilmektedir. Şekil 1’de örnek bir retinal fundus görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1. Retinal fundus resmi

Görüntüyü çeken cihazların ve görüntü analiz yöntemlerinin de gelişmesiyle birlikte, retina damar segmentasyonu üzerinde yapılan çalışmalar parabolik şekilde artış göstermiştir. Kan damarlarının diğer retinal yapılardan otomatik olarak ayrılması işlemi, düşük kontrast ve gürültü gibi parametrelerden dolayı çözülmesi gereken bir konu olmuştur. Özellikle çeşitli hastalıkların teşhisinde önemli bir rol oynayan retina damar segmentasyonunun düzgün ve en doğru şekilde yapılması medikal açıdan dikkat çeken bir konudur.

Medikal açıdan büyük önem taşıyan retina damar segmentasyonu probleminin çözümü için literatürde birçok algoritma ve yöntem önerilmiştir. Önerilen bu algoritma ve yöntemler farklı veri setleri üzerinde uygulanmıştır. Şekil 2’de segmentasyonu yapılmış retina görüntüsü verilmiştir.



a) Orijinal görüntü

b) Segmentasyonu yapılmış görüntü

Şekil 2. Retinal kan damarı ve segmentasyon sonucu

Bu çalışmada, retina damar segmentasyonuna yönelik algoritmalar ve yöntemlere odaklanılmış ve bu alanda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında; retina damar segmentasyonu için kullanılan ve geliştirilen yöntemler kategorize edilerek öncelikle Filtreleme Algoritmalarından ve bu algoritmalar ile yapılan segmentasyon çalışmalarından bahsedilmiştir, ardından Morfolojik Operatörler ve bu alanda yapılan segmentasyon çalışmalarından, daha sonra Makine Öğrenmesi temelli segmentasyon çalışmalarından ve son olarak ise son dönemde geliştirilen hibrit çalışmalara değinilmiş ve anlatılan tüm çalışmalar çeşitli kriterlere göre kıyaslanmış ve sonuç çıkartılmıştır.

## 2. Retina Damar Segmentasyonu

Retina damar segmentasyonu için birçok araştırmacı tarafından farklı algoritma, yöntem ve bu yöntemlerin hibrit kullanımları önerilmiştir. Damar segmentasyonunda kullanılan algoritmalar pek çok farklı şekilde gruplandırılmıştır. Medikal görüntülerdeki en yaygın kategorizasyon, görüntü işleme temelli yöntemler, görüntü tanıma teknikleri, model tabanlı yaklaşımlar, filtreleme algoritmaları ve makine öğrenmesi temelli metotları içermektedir [2,3]. Yapılan literatür taramasında, mevcut çalışmalar dört grupta incelenmiştir: filtreleme algoritmaları, morfolojik operatörler, makine öğrenmesi metotları ve hibrit yaklaşımlar. Her bir segmentasyon kategorisinde kullanılan algoritmalar ve bu algoritmaları kullanan çalışmalar sunulmuştur.

### Filtreleme Algoritmaları

Literatür incelendiğinde, retina damarlarının segmentasyonu için filtreleme algoritmalarından en çok eşleştirilmiş filtre(matched filter) kullanıldığı görülmüştür. Eşleştirilmiş filtre, katkısız stokastik gürültü varlığında sinyal / gürültü

oranını (Signal to Noise Ratio) en üst düzeye çıkarmak için kullanılan optimal doğrusal bir filtredir. Özellikle radar sistemlerinde ve X-ray resimlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

1989 yılında yapılan ve bu bağlamda yapılan ilk çalışma özelliği taşıyan çalışmada, Chaudhuri ve ark. [4] makine öğrenmesi ile birlikte eşleştirilmiş filtre kullanmış ve kan damarlarını çıkartmışlardır.

Bir diğer çalışmada ise kan damarlarının segmentasyonunu 4 adımda yapmışlardır: Birinci adım eşleştirilmiş filtreleme yöntemi, ikinci adım yerel entropi tabanlı eşikleme yöntemi, üçüncü adım uzunluk filtreleme ve son adımda vasküler kesişme tespiti yöntemleri kullanılarak çıkartım yapılmıştır. 20 resim üzerinde yapılan çalışmada, kan damarlarının segmentasyonu yaklaşık 2,5 dakikada tamamlanabilmiştir. [5].

Başka bir çalışmada ise yazarlar damar ağını bölütlemek için yerel ve global damar özneliklerini birlikte kullanmışlardır. Çalışmada damar bölütleme için eşleştirilmiş filtreleme yöntemi önerilmiştir [6].

2009 yılında yapılan çalışmada ise [7] eşleştirilmiş filtreleme yöntemi damar tespiti için önerilmiş, fakat bu filtrelenin tek başına kullanılması tüm damarları (özellikle kılcal damarları) kurtarmadığından dolayı, bu eksikliği gidermek için yeni bir yaklaşım olarak eşleştirilmiş filtreleme ile birlikte karınca kolonisi algoritması önerilmiştir. Çalışmada retina veritabanı olarak DRIVE veritabanı kullanılmış ve önerilen yöntem eşleştirilmiş filtre ve karınca koloni algoritmasının melez bir modeli olarak literatüre geçmiştir.

Bir diğer çalışmada ise 20 retina görüntüsünün kullanıldığı DRIVE veritabanı ile eşleştirilmiş filtreleme yönteminin geliştirilerek kullanıldığı ve daha etkin damar çıkartımı yapıldığı görülmüştür [8].

### 2.1. Morfolojik Operatörlerin Kullanıldığı Çalışmalar

Morfoloji, küme teorisi, topoloji ve rastgele fonksiyonlara dayalı analiz ve proses yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Matematiksel morfoloji genelde sayısal görüntüleri analiz etmede, resim üzerindeki şekillerin yorumlanmasında, analizinde, resimden bilgi çıkartımında, görüntünün şeklinin inceltilmesinde, köşelerinin analiz edilmesinde, bozuk bir görüntüyü onarmada, dokuların tespiti gibi işlemlerde kullanılır [9].

2006 yılında yapılan bir çalışmada yazarlar merkez damar çizgileriyle birlikte morfolojik yeniden yapılandırma yap-

arak segmentasyon işlemi gerçekleştirmişler ve hassasiyet ve özgüllük değerleri, benzer çalışmalardan daha iyi sonuç vermiştir. Algoritma DRIVE retina veritabanı için 2,5 dakikadan az bir sürede çalışmayı tamamlarken, STARE retina veritabanı üzerinde ise 3 dakikadan az bir sürede damar segmentasyonunu başarılı bir şekilde tamamlamıştır. [10].

Bir diğer çalışmada ise [11], matematiksel morfoloji ve eğrilik değerlendirme yöntemi ile damar segmentasyonu yapılmıştır. Gürültü azaltma ve gauss yöntemleri kullanılmış, ardından çapraz eğrilik değerlendirme ve doğrusal filtreleme yöntemleri ile damar segmentasyonu bitirilmiştir. Damar segmentasyonu, otomatik hastalık teşhisi için ilk adım olarak nitelendirilmiştir.

### 2.2. Makine Öğrenmesi Temelli Yapılan Çalışmalar

Makine Öğrenmesi, verilen bir problemi ait olduğu ortamdan edindiği veriye göre modelleyebilen algoritmaların genel adına denilmektedir. Bu alanda önerilmiş birçok yaklaşım vardır. Bunların bir kısmı mevcut verilere göre tahmin ve kestirim, bir kısmı da sınıflandırma yeteneğine sahiptir. Medikal görüntü analizlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

Niemeijer ve ark. [12] önerdikleri makine öğrenmesi tabanlı piksel sınıflandırma yöntemi ile klasik 4 yöntem karşılaştırılmıştır. Bu yöntemler; Eşleştirilmiş Filtre Yöntemi, Bölge Büyütme Yaklaşımı, Matematiksel Morfoloji Yaklaşımı ve Doğrulama Tabanlı Yerel Eşik Yaklaşımı'dır. Retina veritabanı olarak ise DRIVE kullanmışlar ve önerilen yöntemin diğer dört çalışmaya göre daha başarılı sonuçlar vererek damar bölütlemesi yaptığını ortaya koymuşlardır.

Makine öğrenmesi yöntemlerinden denetimli metodların, k en yakın komşu sınıflandırmasıyla birlikte kullanıldığı bir diğer çalışmada [13] sonuçlar, daha önce yapılan literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslanmış ve yöntemin, karşılaştırılan diğer 2 kural tabanlı yöntemle göre anlamlı derecede iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Bir diğer çalışmada ise, makine öğrenmesinin denetimsiz metodları önerilmiştir. Çalışmada eğrilik tabanlı bir yöntem sunulmuştur. Modifiye edilmiş bölge büyütme yönteminin kullanıldığı çalışma, 2004 ve 2006 yıllarındaki denetimli metodlarla yapılmış çalışmalarla karşılaştırılmış ve üstün yönleri not edilmiştir [14].

112 adet retina resmi üzerinde yapılan başka bir çalışmada

resimler öncelikle bir ön işlemle geçirilerek en iyileme çalışması yapılmış, ardından kan damarları çok katmanlı algılayıcı ağ kullanılarak tanımlanmış ve girdiler, görüntünün temel bileşen analizi yapılarak türetilmiştir [15].

Martinez ve ark. [16] çok parçalı öznelik çıkarımına dayalı retina kan damarlarını otomatik segmentlere ayırmak için bir yöntem ortaya koymuştur. Damar çapları ve dallanma açısı ölçümlerini kullanan yeni bir yaklaşım önermişler ve patolojik damarlar da dahil olmak üzere bölgeyi izole etmek mümkün olmuştur.

### 2.3. Son Dönemde Yapılan Hibrit Çalışmalar

Rezaee ve ark. [17] Adaptif Filtreleme, Skeletonizasyon ve Fuzzy Entropi temelli bir eşik seçimi kullanılarak daha yüksek segmentasyon yeteneği getiren bir etkinlik algoritması önerilmiştir. Resim üzerindeki gürültülerin giderimi için de tasarlanmış bir Wiener Filtresi kullanılmıştır.

Li ve ark. [18] damar bölütlemesi için denetimli bir çapraz model öğrenme yaklaşımı önermişlerdir. Segmentasyon için güçlü induksiyon yeteneği olan geniş ve derin bir sinir ağı önerilmekte ve etkin bir eğitim stratejisi sunulmaktadır.

Bir diğer çalışmada ise [19] yazarlar hızlı bir sistem ortaya koyarak damar segmentasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Resim ön işleme ve Skeletonizasyonun ardından sistem CUDA kullanılarak GPU'larda (ekran kartlarında) uygulanmış ve paralel olarak işlenmiştir.

Barkana ve ark. [20] yapmış oldukları çalışmada bulanık mantık, yapay sinir ağları, destek vektör makinaları ve sınıflayıcı füzyonu ile retina damar segmentasyonunda tanımlayıcı istatistiksel özelliklerin performans analizi yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, betimsel istatistiksel özelliklerin retina damar segmentasyonunda kullanılabileceğini ve kural tabanlı ve denetlenen sınıflandırıcılarda kullanılabileceğini doğrulamaktadır.

Bir diğer çalışmada ise kan damarlarının segmentasyonu için ayrımcı sözlük öğrenimi tabanlı bir yöntem önerilmiştir [21].

Frucci ve ark. [22] yaptıkları çalışmada Severe ismini verdikleri yeni bir yöntem önerilmiştir. Kan damarlarını bölütlemek için denetimsiz bir metod sunulmuş ve benzer çalışmalara göre performans açısından daha iyi sonuçlar vermiştir.

GeethaRamani ve ark. [23] yaptıkları çalışmada da hibrit bir yöntem önerilmiştir. Öncelikle resim ön işleme yapılmış,

ardından denetimli ve denetimsiz öğrenme ve görüntü sonrası işleme tekniklerinin ardışık uygulanmasıyla sonuç bulunmuştur. Özellik vektörü üzerinde temel bileşen analizi ve ardından pikselleri gruplandırmak için K-means algoritması kullanılarak %95,36 gibi yüksek bir başarı oranıyla kan damarları segmente edilmiştir.

### 3. Sonuç

Bu çalışmada retinal görüntülerden kan damarlarının bölütlemesi çalışmaları incelenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar detaylı olarak incelenmiş ve kullanılan yöntemler belirtilmiştir. Yapılan çalışmalardan anlaşılmıştır ki filtreleme algoritmalarıyla başlayan çalışmalar, morfolojik operatörlerle devam etmiştir. Ardından makine öğrenmesi tabanlı çalışmalar izlenmiş ve son döneme bakıldığı zaman, birçok yöntemi içinde barındıran hibrit yöntemler geliştirilmiş ve kan damarlarının segmentasyonu işlemi daha etkin bir şekilde yapılmıştır. Algoritmanın hızlı çalışması için ise grafik işlemci birimi üzerinde paralel hesaplamalar yapılan çalışmalar yer almıştır.

### Maddi Destek ve Çıkar İlişkisi

Çalışmayı maddi olarak destekleyen kişi/kuruluş yoktur ve yazarların çıkarı dayalı bir ilişkisi yoktur.

### Kaynaklar

1. Kanski JJ. Clinical Ophthalmology: A Systemic Approach, 6th ed. London, UK: Elsevier Health Sciences 2007.
2. Fraz MM, Remagnino P, Hoppe A, et al., Blood vessel segmentation methodologies in retinal images-A survey, Computer Methods and Programs in Biomedicine 2012;108:407-33.
3. Kirbas C, Quek F. A Review of Vessel Extraction Techniques and Algorithms, ACM Computing Surveys, 2004;36:81-121.
4. Chaudhuri S, Chatterjee S, Katz N, Nelson M, Goldbaum M, Detection of blood vessels in retinal images using two-dimensional matched filters. IEEE Trans Med Imag 1989;8:263-9.
5. Chanwimaluang T, Fan G. An efficient algorithm for extraction of anatomical structures in retinal images, in: Proceeding of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Spain, 2003;1193-6.
6. Hoover A, Kouznetsova V, Goldbaum M. Locating blood vessels in retinal images by piecewise threshold probing of a matched filter response. IEEE Trans Med Imaging 2000;19: 203-10.

7. Cinsdikici MG, Aydın D. Detection of blood vessels in ophthalmoscope images using MF/ant (matched filter/ant colony) algorithm, *Comp. Methods Prog. Biomed* 2009;96:85-95.
8. Al-Rawi M., Qutaisat M., Arrar M., An improved matched filter for blood vessel detection of digital retinal images, *Comp Biol Med* 2007;37:262-7.
9. Serra J. *Image Analysis and Mathematical Morphology*, London: Academic 1982;1
10. Mendonça AM, Campilho A. Segmentation of retinal blood vessels by combining the detection of centerlines and morphological reconstruction. *IEEE Trans Med Imag* 2006;25:1200-13.
11. Zana F, Klein JC. Segmentation of vessel-like patterns using mathematical morphology and curvature evaluation. *IEEE Trans Image Process* 2001;10:1010-9.
12. Niemeijer M, Staal JJ, Van Ginneken B, Loog M, Abramoff MD. Comparative study of retinal vessel segmentation methods on a new publicly available database, *SPIE Med Imag* 2004;53:648-56.
13. Staal J, Abramoff MD, Niemeijer M, Viergever MA, van Ginneken B. Ridge based vessel segmentation in color images of the retina. *IEEE Trans Med Imaging* 2004;23:501-9.
14. Garg S., Sivaswamy J., Chandra S., Unsupervised curvature-based retinal vessel segmentation, in: *Proceeding of the IEEE International Symposium on Bio-Medical Imaging, USA, 2007*;344-7.
15. Sinthanayothin C., Boyce J.F., Cook H.L., Williamson T.H., Automated localisation of the optic disc, fovea, and retinal blood vessels from digital colour fundus images, *Br J Ophthalmol* 1999;83:902-10.
16. Martinez-Perez ME, Hughes AD, Thom SA, Bharath AA, Parker KH. Segmentation of blood vessels from red-free and fluorescein retinal images. *Med Image Anal* 2007;11:47-61.
17. Rezaee K, Haddadnia J, Tashk A. Optimized clinical segmentation of retinal blood vessels by using combination of adaptive filtering, fuzzy entropy and skeletonization, *Applied Soft Computing* 2017;52:937-51.
18. Li Q, Feng B, Xie L, Liang P, Zhang H, Wang T. A cross-modality learning approach for vessel segmentation in retinal images. *IEEE Trans Med Imag* 2016;35:109-18.
19. Krause M, Alles RM, Burgeth B, Weickert J. Fast retinal vessel analysis. *J. Real-Time Image Process* 2016;11:413-22.
20. Barkana BD, Saricicek I, Yildirim B. Performance analysis of descriptive statistical features in retinal vessel segmentation via fuzzy logic, ANN, SVM, and classifier fusion, *Knowledge-Based Syst* 2017;118:165-76.
21. Javidi M, Pourreza HR, Harati A. Vessel segmentation and microaneurysm detection using discriminative dictionary learning and sparse representation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 2017;139:93-108.
22. Frucci M, Riccio D, Baja GS, Serino L, Severe: Segmenting vessels in retina images. *Pattern Recog Lett* 2016;82:162-9.
23. GeethaRamani R, Balasubramanian L. Retinal blood vessel segmentation employing image processing and data mining techniques for computerized retinal image analysis. *Biocybern Biomed Engine* 2016;36:102-18

Sorumlu Yazar: Yunus Kökver, Ankara Üniversitesi Elmadag Meslek Yüksekokulu, Ankara, Türkiye  
E-mail [ykokver@ankara.edu.tr](mailto:ykokver@ankara.edu.tr)