

KENAR BULMA İÇİN TOPOLOJİK GRADYAN İŞLEÇLERİ

Hakan Güray ŞENEL

ÖZET : Görüntü işlemede kenar bulma, görüntülerde piksel değerlerinin değiştiği yerlerin bulunmasıdır. İlk yöntemler, doğrusal süzgeç ve yönlü türeve dayalı basit işleçlerdi. Türevin yaklaşık olarak hesaplanmasına dayanan bu yöntemlerin en önemli sorunlarından biri, küçük işleç genişlikleri nedeniyle, gürültüye karşı hassas olmalarıdır. Yakındaki nesnelerin kenarlarının da o yerdeki türeve etki etmesini engellemek için küçük genişlikle işleçlerin kullanımı yaygındır. Bu çalışmada, daha geniş işleç boyutlarının kullanılmasını sağlayan, gradyan işleçlerinden önce uygulanabilecek bulanık topolojiye dayalı bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntem, adım kenarlarla birlikte yavaş değişim gösteren yokuş kenarlarda türevin etki alanını sınırlandırarak daha ince kenar çizgilerinin oluşmasını sağlamaktadır. Önerilen yöntemin uygulandığı sentetik ve doğal görüntüler üzerinde yapılan inceleme sonucu, gradyan işlecinin tepkisinin kenar dışına taşmasının engellendiği ve düz alanlarda gürültünün daha iyi bastırıldığı anlaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER : Görüntü İşleme, Kenar Bulma, Bulanık Görüntü Topolojisi, Sayısal Görüntü Topolojisi.

TOPOLOGICAL GRADIENT OPERATORS FOR EDGE DETECTION

ABSTRACT : Edge detection in image processing is the task of locating pixel value variations in images. First methods were directional derivative based linear filters. One of the most important problems of these methods that are based on computation of approximate derivative were their sensitivity to noise due to small kernel sizes. Small kernels are widely used to avoid the effect of nearby objects. In this work, we propose a fuzzy topology based method that allows the use of larger gradient kernels. This method produces thin gradient lines by limiting the support +area of gradient kernels for slowly varying ramp-like edges. By applying the proposed method on synthetic and natural images, it is observed that it decreases the output area around the edge and suppresses noise on constant image areas.

KEYWORDS : Image Processing, Edge Detection, Fuzzy Image Topology, Digital Image Topology.

I. GİRİŞ

Kenar bulma, görüntülerde piksel değerlerindeki değişimlerin gerçekleştiği yerlerin belirlenmesidir. Nesne tanıma, hedef izleme ve bölütleme gibi daha ileri seviyeli görüntü işleme yöntemlerinin içinde ilk aşamalardan biri olarak yer aldığından, bunların başarısını etkileyen önemli unsurlardan biridir. Kenar bulma için zaman içinde konuyla ilgili çeşitli yöntemler önerilmiştir [1,2,3,4,5,6]. İlk yöntemler, keskin piksel değişimlerini bulmak için geliştirilen gradyana dayalı işlemlerdir. Birinci derecede türeve dayanan teknikler, gradyanın çeşitli yönler için hesaplanmasına ve bunların birleştirilmesine dayanmaktadır. Sobel, Prewitt ve Roberts işlemleri, bu tür yöntemlere örnek verilebilir. Türev temelli diğer yöntemler, görüntünün ikinci türevinin sıfır geçişlerinden kenarların bulunması esasına dayanmaktadır. Laplace ve Gauss süzgeçlerin birbiri arkasına uygulanmasına dayanan LoG filtresi ilk olarak Marr ve Hildreth tarafından önerilmiştir [1]. LoG yöntemi, çeşitli ölçeklerde uygulanabilen çok çözünürlüklü bir işlemdir. Görüntü artan değişimlerde (varyans) Gauss çekirdekleriyle evriştirilir ve kenarlar güçlerine göre artan ölçeklerde aşamalı olarak elenir. Çok ölçekli yöntemlerde, görüntüler bulanık hale getirildiği için kenarların ve köşelerin kesin yerlerinin bulunması zordur. Ayrıca, çeşitli ölçeklerde elde edilmiş yumuşatılmış görüntülerde bulunan kenarların birleştirilmesi süreci zordur ve yüksek hesaplama gücü gerektirir [2,6,8]. Eğer görüntüdeki kenarların büyüklükleri önceden bilinmiyorsa, çok ölçekli bir yöntem yarar sağlayabilir. Gauss çekirdek kullanan çok ölçekli tekniklere ek olarak, Mallat ve Zhong [6] dalgacık dönüşümünün yerel maksimumuna dayanan bir yöntem önermiştir.

Canny kenarların yerlerini bulmanın bir eniyileme süreci olduğunu öne sürerek, adım kenarlar için en iyi kenar bulma yönteminin Gauss işleciyle yumuşatılmış görüntünün üzerinde gradyanının hesaplanması olduğunu göstermiştir [3,7]. Canny'nin önerdiği yöntem, görüntünün Gauss işlecinin birinci türeviyle evriştirilmesi, gürültü enerjisinin tahmini, en büyük olmayan gradyan değerlerinin komşu piksellere bakarak ortadan kaldırılması, ikili eşikleme ve inceltme süreçlerinden oluşmaktadır.

Kenar bulma işleminden önce uygulanması gerekli yumuşatma işleminin ölçeğinin, görüntünün yapısına göre değiştirilmesi esasına dayanan bir yöntemi

Perona ve Malik önermiştir [4]. Bu yöntemde, izotropik olmayan difüzyon temelli bir formülle, o noktadaki gradyan genliğine göre yumuşatma oranı uyarlamalı olarak değiştirilmektedir. Kenarlarda yumuşatma oranı düşerken, düz alanlarda arttırılmaktadır. Gürültü içeren görüntülerde kenar bulma işleminin istatistiksel yöntemlerle yapılması da önerilmiştir [9]. Bu yaklaşımda görüntüler rastsal bir alan olarak modellenerek, pikseller arasındaki ilişkiler incelenmektedir.

Sık kullanılan gradyan ve Laplace temelli yöntemlerde, süzgeçlerin çekirdek genişlikleri küçük tutularak yakın nesnelere birbirini etkilemesi engellenmektedir. Bu şekilde, daha az sayıda örnek kullanılarak gradyan veya Laplace hesaplanmakta ve işlemin tepki verdiği alan sınırlandırılmaktadır. Bu makalede, bulanık görüntü topolojisine dayanan gradyan temelli bir yöntem önerilmiştir. Çalışmanın temel amacı, geliştirilen yöntemin daha geniş işlemlerin kullanılmasına imkân sağladığını ve gradyan tepkisinin sadece değişikliğin gerçekleştiği yere sınırlandığını göstermektir. Önerilen yöntem çeşitli kenar bulma tekniklerine uyarlanabilmesine rağmen, bu çalışmada sadece gradyan temelli kenar işlemleri incelenecektir.

Makale altı bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde sık kullanılan kenar bulma yöntemleri anlatılacak ve özellikleri irdelenecektir. Sonraki bölümde, bulanık topoloji tanımlanarak, bulanık bağlantılılık (fuzzy connectedness) ve bağlantı derecesi haritası (BDH) kavramları açıklanacaktır. Dördüncü bölümde, gradyan değerinin daha fazla sayıda değer kullanılarak bulunabileceği yeni yöntem tanımlanmaktadır. Önerilen yöntemin sentetik ve doğal görüntüler üzerine uygulanarak elde edilen sonuçları, beşinci bölümde verilmektedir. Son bölümde, sonuçlardan elde edilen çıkarımlar araştırmalar anlatılmaktadır.

II. KENAR BULMA

Kenar bulma sürecinde en çok kullanılan yöntemlerden biri doğrusal süzgeç içeren gradyan bulma yaklaşımıdır [10]. Bu yöntem genellikle adım (step) kenarlar için iyi çalışır. Gradyan içinde bulunan yönlü türevler, türevin doğası gereği gürültüye karşı hassastır. Sobel, Roberts ve Prewitt işlemlerinin, kenarların bulanık olması veya gürültü içermesi durumlarında iyi çalışmadıkları

bilinmektedir. Ayrıca, bu işlemlerin gürültülü görüntülerde açı ve yön konularında sıkıntılarının olduğu [11] ve köşelerde iyi çalışmadıkları gösterilmiştir [12].

Gauss süzgeci, çeşitli özellikleri nedeniyle görüntü işleme alanında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Fakat kenar bulma yöntemlerinde kullanılmasının iyi sonuçlar vermediği bilinmektedir. Gauss temelli süzgeçlerin paralel ve kesişen çizgileri birleştirdikleri gösterilmiştir [11].

Laplace gibi ikinci türeve dayalı işlemlerin nesne sınırlarını iyi belirlemelerine rağmen, kenar bulma konusunda sıkıntıları vardır. Bunun nedeni, ikinci türevin sıfır geçişlerinin, birinci türevin en büyüğüne veya en küçüğüne karşılık gelmesidir [13]. Diğer bir deyişle, ikinci türevdeki sıfır geçişler görüntüdeki kenarlara karşılık gelmeyebilir. Doğal görüntülere uygulandığında, LoG iyi bir kenar bulma yöntemi değildir ve gürültüye karşı birinci türevden daha hassas olması nedeniyle uygulanmadan önce, bilgi kaybı göze alınarak görüntünün yumuşatılması gereklidir [2].

İkinci türeve dayalı yöntemlerde, kenarların ayrık olması ve sinyal gürültü oranının belirli bir orandan büyük olması istenir. İkinci türev, ideal adım ve yokuş kenarlar için kenarın bulunduğu yerde tepki verirken, diğer karma tür kenarlarda konumlama sorunları yaratmaktadır. Kısa uzunluktaki kenarlar için, konumlama sorunları daha da belirgindir [2]. İki kenarın birbirine yaklaştığı yerlerin ve çift kenarların yakınlığında sahte kenarlar görülebilir [13].

Canny'in önerdiği kenar bulma yönteminin en önemli özelliklerinden biri, kenar bulucunun rastsal Gauss dağılımındaki gürültüye dayanıklı olmasıdır. Yöntemin önemli varsayımlarından biri, kenarların Gauss gürültü eklenmiş adım kenarlardan oluşmasıdır [3]. Yöntem, bir pikselin kenar üzerinde olup olmadığına komşularına bakarak karar vermektedir. Bununla birlikte, Gauss'la yumuşatılmış görüntülerde yerel piksel değerlerindeki en büyük değer bulunması işleminin belirgin kenarları bulmakta zorluk çıkardığı gösterilmiştir [14]. Bu nedenle, Canny'nin önerdiği yöntem, gradyan temelli ve LoG gibi tekniklere göre zayıf kenarlara karşı daha hassastır. Bu durum kendisini kenarlarda titremelerin olması ve yanlış kenarların bulunmasıyla belli eder [11]. Karşılaşılan sorunları ortadan kaldırmak için Canny yöntemine eklenebilecek çeşitli koşullar önerilmiştir [14,15].

Sezgisel olarak, türev temelli işleçlerin piksel değerlerindeki değişimleri algılamada başarılı olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, türevin gürültüye karşı hassas olması nedeniyle, türeve dayanan işleçlerin uygulanmasından önce görüntülerin yumuşatılması gereklidir [16]. Görüntünün ne kadar yumuşatılacağı konusu görüntüden görüntüye değişebilir ve bunun için genel bir formül yoktur. Zaten, çok ölçekli yöntemler bu soruna çözüm olarak önerilmişlerdir.

Eğer türeve dayanan işleçler gürültü bulunan görüntülere uygulanırsa, ayrık ve sanal kenarların olduğu bir sonuç elde edilebilir. Bunun nedenlerinden biri işlem sırasında kullanılan örnek sayısının, diğer bir deyişle çekirdek içindeki piksel sayısının az olmasıdır. Küçük pencereler, örneğin 3×3 ve 5×5 , sık uygulanan işleç büyüklükleridir. Canny, kenar bulma yöntemini sunduğu çalışmasında, sinyal gürültü oranı izin verdiği oranda küçük işleçlerin kullanılması gerektiğini vurgular [3]. Bunun temel amacı az sayıda örnek kullanarak yerel değişimlerin buldukları yerlere en yakın şekilde belirlenmesi düşüncesidir. Eğer, kullanılan işleç büyük olursa, yakınlardaki kenarlarla temas edeceğinden işlecin tepki verdiği alan da geniş olacaktır. Görüntüde birbirine yakın çok ayrıntı varsa işlecin bunlara temas etmesi ve tepki vermesi kaçınılmazdır. Kullanılan kenar işleçleri ne kadar büyük olursa, yumuşatma işlemine o kadar az gerek duyulacaktır. Ayrıca, türevin yaklaşık değerinin hesaplanmasında daha fazla örnek kullanılacak ve gerçek türev değerine daha yakın değerler elde edilebilecektir. Kısacası, yakın kenarların birbirine karışmasını engellemek için, büyük işleçlerin gürültüyü bastırabilme özelliğinden ödün verilmektedir [17].

Bir kenar bulma algoritmasının tasarlanması sırasında kabul edilen kenar modeli, süzgecin genel başarımını etkileyebilir. Canny, bir boyutlu adım kenar varsayarak, en iyi kenar işlecinin tasarlanmıştır. Benzer şekilde, birinci türeve dayanan ve küçük boyutlara sahip Prewitt ve Sobel gibi kenar işleçleri, Gauss gürültü eklenmiş adım kenar modelini kullanırlar. Bu model genellikle tasarımda kolaylık sağlamasına rağmen, uygulamada iki sorun çıkarır. İlk sorun, doğal görüntülerde sadece adım kenarların yer almamasıdır [9]. İkincisi, birbirine yakın nesnelerin yarattığı karmaşık durum adım kenar modeliyle uyumsuzdur [16].

Bu makalede, pikseller arasındaki bulanık topolojik özellikleri kullanarak daha geniş gözlem pencerelerinin uygulanmasını sağlayan bir yöntem önerilmektedir.

Gözlem penceresi içinde, merkezdeki pikselin diğerlerine nasıl bağlandığını gösteren bir harita hesaplanmaktadır. Bu harita yardımıyla, birbirine yakın ama bağlı olmayan nesnelere ayıklanmakta, gradyan tepkisinin kenarın etrafına taşması engellenerek daha geniş kenar işleçlerinin kullanılabilmesi için ortam yaratılmaktadır.

III. BULANIK TOPOLOJİ VE BAĞLANTI DERESESİ HARİTASI

Birbirine bağlı bileşenler bir görüntü içinde yer alan en temel bilgi parçalarıdır. Bağlantılılık, sayısal topolojinin temel kavramıdır. Sayısal topolojinin sadece iki piksel değerinden oluşan ikili görüntülerde uygulaması açıktır. Sayısal topoloji kullanılarak, ikili görüntülerde alanlar, nesnelere sınırları ve kenarlar tanımlanabilir. Gri seviyeli görüntülerde sayısal topolojinin karşılığı bulanık topolojidir. Rosenfeld sayısal topolojiyi çok seviyeli görüntüler için genişleterek bulanık topolojiyi tanımlamıştır [18]. Rosenfeld, gri seviyeli görüntülerdeki piksel değerleri $[0,0...1,0]$ arasına ölçeklendiğinde, görüntünün bulanık küme olarak düşünülebileceğini önermiştir. Böylece, ölçeklenmiş piksel değeri, o pikselin parlak nesnelere içindeki üyelik fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Benzer şekilde, görüntünün negatifi alındığında elde edilen görüntüdeki ölçeklenmiş piksel değerleri, piksellerin koyu nesnelere kümesi içindeki üyeliklerinin ölçüsü olarak düşünülebilir.

III.1. Bulanık Topoloji

Σ sembolü tamsayı koordinatların oluşturduğu dikdörtgen şeklinde iki boyutlu bir diziyi tanımlasın. Koordinatları (x, y) olan herhangi bir piksel olan p , Σ 'nin elemanıdır. Σ 'nin bulanık alt kümesi olan W , $p \in \Sigma$ olmak şartıyla, sıralı ikililerden, $W = (p, \mu_W(p))$ oluşmaktadır. Buradaki $\mu_W(p)$, pikselin parlak noktalar içindeki üyelik derecesini, diğer bir deyişle ölçeklenmiş piksel değerini vermektedir.

W 'nin Σ 'nin bulanık alt kümesi olduğunu ve $\sigma : p = p_0, p_1, p_2, \dots, p_n = q$ dizisinin W içindeki herhangi iki noktayı birbirine kesiksiz olarak bağlayan bir yol olduğunu düşünelim. Yolun, diğer bir deyişle σ 'nın kuvveti, $S_W(\sigma)$, yol üzerindeki en zayıf bağlantıdır.

$$S_W(\sigma) \equiv \min_{0 \leq i \leq n} \mu_W(p_i) \quad \forall p_i \in \sigma \quad (1)$$

İkili (binary) görüntülerde, iki noktanın birbirine bağlı olduğu, iki noktayı bağlayan ve sadece parlak piksellerden oluşan bir yolun varlığıyla anlaşılabilir. Diğer yandan, gri seviyeli görüntülerde iki pikselin bağlantılı olduğunu göstermek için farklı bir yaklaşım gerekir. Bu nedenle önerilen bulanık topoloji, gri seviyeli görüntülerdeki piksel değerlerinin ikiden fazla olması nedeniyle oluşan belirsizliği, bağlantılılık derecesi kavramıyla ölçülebilir hale getirmektedir [18]. Görüntüdeki her iki piksel çiftine, (p, q) , sıfır ve bir aralığında bir sayı verilmektedir. Bu değer p ve q 'nun hangi dereceyle birbirine bağlı olduğunu göstermektedir. Pratikteki uygulamalarda ölçeklenmiş değerler yerine gerçek piksel değerler kullanılabilir. Gri seviyeli görüntülerde p ve q arasındaki bağlantı derecesi şöyle tanımlanmaktadır [18].

$$C_W(p, q) \equiv \max_{\sigma} S_W(\sigma) \quad \forall \sigma : p, \dots, q \quad (2)$$

İki pikselin, p ve q 'nun W içinde bağlı olabilmesi için, tanım itibarıyla, $C_W(p, q) = \min(\mu_W(p), \mu_W(q))$ koşulunun sağlanması gereklidir. Bağlantı derecesi iki piksel değerinin en küçüğünden daha büyükse, bu iki nokta birbirine bağlıdır. Gri seviyeli görüntülerdeki bağlantılılık uygulamaları ve daha geniş tanımlar [18]'de verilmektedir.

Şenel çalışmasında, pikseller arasındaki bağlantı derecelerinin kullanılarak, küçük gözlem pencereleri için bağlantı derecesi haritasının (BDH) nasıl oluşturulacağını tanımlamıştır [20]. Bağlantı derecesi haritası, $o \in W$ pikselinin diğerleriyle nasıl bağlandığını şöyle göstermektedir

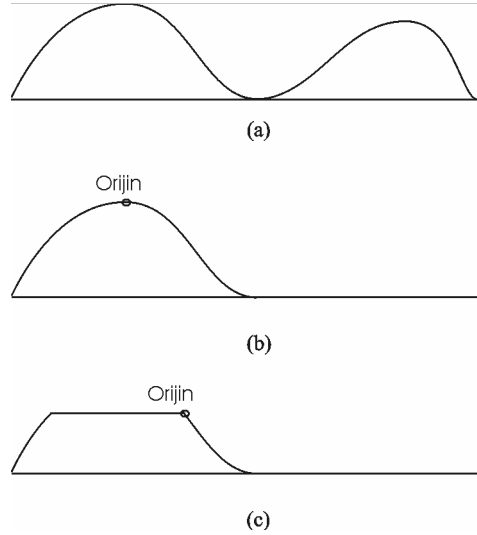
$$BDH_W(o) = C_W(o, p) \quad \forall p \in W. \quad (3)$$

Bu makalede önerilen yöntem BDH kavramını temel almaktadır.

III.2. BDH'nin Özellikleri

Bir gözlem penceresi içinde yer alan piksel değerleri kullanılarak yeni bir pencere oluşturulmaktadır. Bunun içindeki değerler, merkez piksele olan bağlantı derecelerini göstermektedir. Görüntünün içindeki nesnelerin nasıl algılandığına bakılarak, iki farklı BDH oluşturulabilir. Zira görüntü içinde birbirine bağlı parlak pikseller ve bunların oluşturduğu nesnelere olabileceği gibi, koyu piksellerin birleşerek oluşturdukları koyu nesnelere de bulunabilir. Eğer görüntü olduğu gibi kullanılırsa, parlak pikseller için BDH hesaplanabilir. En büyük piksel değerine göre görüntünün tersi üzerinde, koyu noktalar için BDH elde edilir.

Bağlantı derecesi haritalarının nasıl çalıştığını gösterebilmek için, üzerinde birbirine yakın iki çizginin bulunduğu bir görüntü kullanılacaktır (Şekil 1.a). Bu görüntünün belirli bir yerinden kesit alınarak, bir boyuta taşınması tercih edilmiştir. İki boyutlu uzayda bağlantıların çok farklı yollar üzerinden gerçekleşebilmesine rağmen, BDH'nin nasıl çalıştığının gösterilebilmesi için kesit görüntüleri yeterlidir.

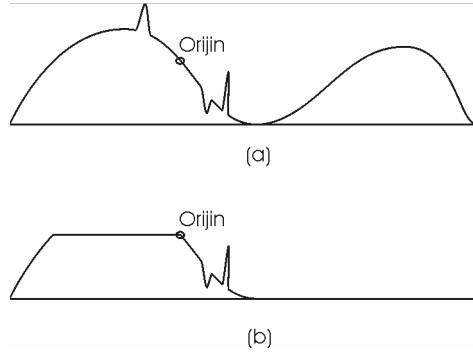


Şekil 1. a) İki yakın çizgi nesnesinin oluşturduğu görüntünün kesiti.

b) Orijin nesnenin tepe noktasındayken BDH.

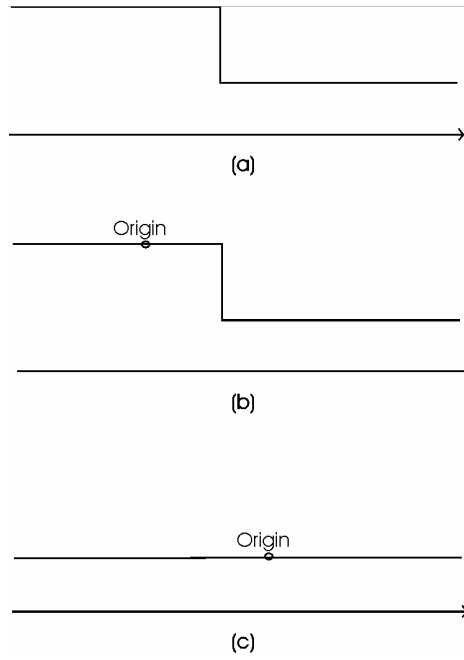
c) Orijinin yamaçta yer aldığı durumda BDH.

Şekil 1.b’de gösterilen orijin referans alınırsa ortaya çıkan BDH’de, sağdaki çizgi görülmemektedir. Görüntüde merkez piksele bağlı olmayan nesnelere ortadan kaldırılmıştır. Eğer, merkez soldaki nesnenin tepesi yerine, sağdaki nesneye yakın olan yamaçta yer alırsa, sağdaki nesne ortadan kalktığı gibi soldaki nesnenin bir bölümü de kesilmektedir (Şekil. 1.c). Diğer bir deyişle, orijine bağlantılı olmayan nesnelere bir miktar bozulmayla ortadan kaldırılmaktadır.



Şekil 2. a) Gürültü eklenmiş görüntünün kesiti,
b) Bağlantı derecesi haritası.

Şekil 1.a’da gösterilen kesitteki herhangi üç piksele gürültü eklenirse (Şekil 2.a) ve BDH oluşturulursa, Şekil 2.b elde edilir. Orijin pikselin değerinden yüksek olan ve gürültü içeren pikseller, soldaki nesnenin bir kısmıyla birlikte temizlenmektedir. Orijinin sağında yer alan gürültü içeren pikseller deformasyon yaratarak, sağdaki nesneyle birlikte yok edilmektedir. Kısacası, BDH’de gürültü bileşenleri eğer orijine bağlı değilse, bağlı olmayan diğer nesnelere birlikte temizlenmektedir.



Şekil 3. a) Adım kenarın kesiti.
b) Orijin soldaki yüksek bölümde yer alırsa elde edilen BDH.
c) Orijin sağdaki bölümde yer alırsa elde edilen BDH.

İdeal adım kenar, Şekil 3.a'da gösterilmektedir. Şekil 3.b, orijin soldaki yüksek bölüme konulursa elde edilen BDH'yi göstermektedir. Şekilde görüleceği gibi, adım kenar bozulma olmadan BDH'ye taşınmaktadır. Diğer yandan, orijin sağdaki düşük piksel değerli bölüme konulursa, BDH'de düz bir grafik elde edilmektedir (Şekil 3.c). Bu durum, gözlem penceresindeki en düşük değerli pikselin, kendi piksel değerine eş değer derecede diğerlerine bağlanmasından ileri gelmektedir [19]. Çünkü en düşük değerli piksel her zaman diğerlerine bağlıdır.

Orijin kenarın parlak tarafına konumlanırsa, BDH'de parlak ve koyu pikseller görülmektedir. Eğer orijin koyu noktalardan birinin üzerine konulursa, sadece koyu pikseller görülmektedir. Gözlenen bu asimetrik durumdan, bu makalede anlatılan yöntemin geliştirilmesinde yararlanılmaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi, bağlantı derecesi haritası görüntünün kendisi ve negatifinden olmak üzere iki şekilde elde edilmektedir. Her iki harita birbirini tamamlayan bilgilere sahiptir.

BDH oluşturmak için boyutları 3×3 'ten daha büyük olan görüntü parçaları kullanılmalıdır. Çünkü 3×3 görüntü parçasında, 8'lik bağlantı kullanılırsa bütün pikseller birbirine bağlı durumdadır. Benzer mantıkla 5×5 parçalar da yeterli olmayabilir. Genellikle, BDH'nin uygulanabilmesi için 5×5 'lik gözlem pencerelerinden büyük parçalar seçilmelidir.

IV. TOPOLOJİ TEMELLİ GRADYAN İŞLECI

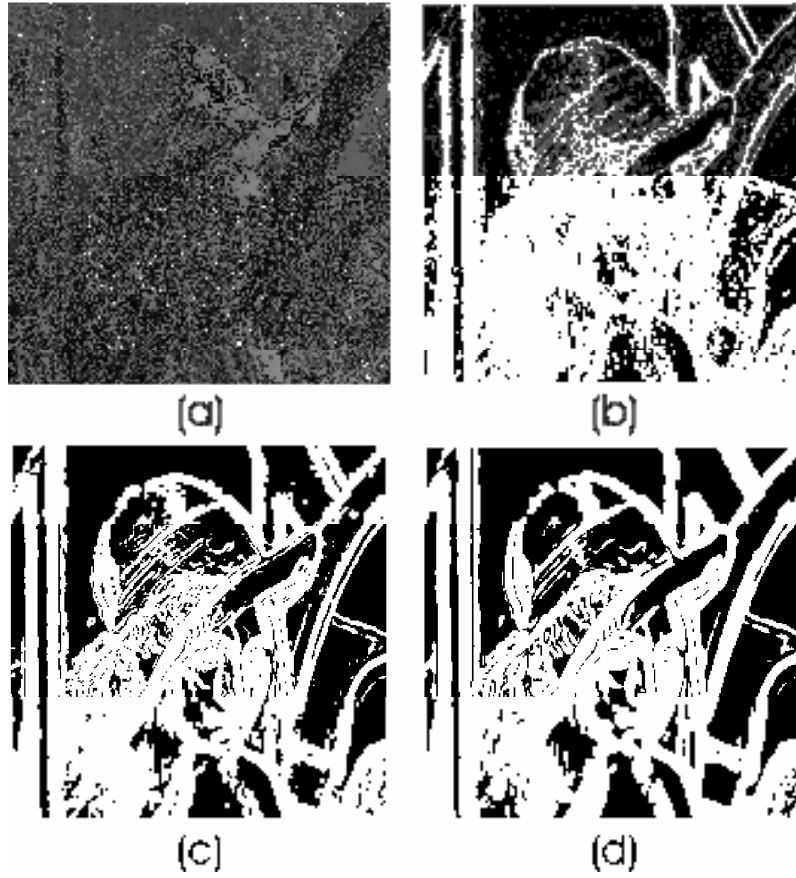
Bu çalışmada, çeşitli kenar bulma yöntemlerine eklenebilecek, BDH temelli bir ön filtreleme süreci tanıtılmaktadır. BDH'nin var olan süzgeçler için uygulanabileceğini ilk olarak Şenel [20] göstermiştir. Yumuşatma yöntemi olarak kullanılan medyan süzgecinin çeşitli sorunlarını vurgulamış ve BDH üzerinde medyan süzgecinin uygulanmasını önermiştir. Topolojik medyan süzgeci, geleneksel olana göre gürültüyü daha az süzmekle birlikte, kenarları daha iyi korumaktadır. Aybar [21], Şenel'in [20] önerdiği BDH haritaları üzerine Sobel çekirdeğini uygulamıştır. Önerilen Topolojik Sobel işleci, geleneksel Sobel'e göre daha fazla ayrıntıyı korumakta ve yakındaki nesnelere etkilenmemektedir. Özellikle, daha büyük çekirdek boyutlarının kullanılabilmesi şeklinde gradyan ve türev temelli kenar bulma yöntemlerine eklenebilmektedir. Bu çalışmada, Aybar'ın [21] önerdiği parlak BDH'ler üzerinde uygulanan Sobel işleci yerine, parlak ve koyu BDH'lerden elde edilen gradyan bilgilerinin nasıl birleştirilerek daha iyi bir kenar işlecinin oluşturulabileceği anlatılmaktadır.

IV.1. Geniş Gradyan İşleçleri

Kesikli koordinat sistemlerinde, fonksiyonun x eksenindeki bir noktadaki yaklaşık türev değeri, o noktanın sağında ve solundaki piksel değerleri kullanılarak nümerik olarak hesaplanabilir. Ne kadar fazla nokta kullanılırsa, yaklaşık türev o kadar gerçek değerine yaklaşır ve gürültüye karşı direnci artar. Bununla birlikte, işlecin genişliği büyüdükçe yakın nesnelere birbirini etkilemeye başlar ve kenar olmayan noktalar kenar olarak işaretlenir. Örneğin, Lena görüntüsünde (Şekil 4.a), 3×3 Sobel çekirdeği kullanılarak elde edilen görüntü, ortalama değerinde eşiklenerek ikili görüntü haline getirilmiştir (Şekil 4.b). Eğer

7×7 ve 9×9 Sobel çekirdekleriyle aynı görüntü işlenirse, sırasıyla Şekiller 4.c ve 4.d elde edilmektedir. Büyük çekirdekle elde edilen görüntülerde, çizgilerin kalın olduğu ve yakın kenarların birbirine karıştığı görülmektedir.

Kenar bulma yöntemlerinde algılanabilecek kenarlar genellikle gürültü eklenmiş adım kenarlardır. Adım kenar, 3×3 'lük bir gradyan çekirdeği içine denk geldiğinde en büyük gradyan genişliği elde edilir. Yavaş değişen kenarlarda, örneğin yokuş kenarlarda büyük çekirdekler daha iyi tepki verebilir. Fakat büyük çekirdek genişlikleri gradyan tepkisinin kenarın etrafına taşmasına neden olmaktadır. Eğer yakındaki nesnelerin karışması engellenebilirse, büyük işleçler taşma yaratmadan bütün kenar türlerinde iyi sonuçlar verebilir.



Şekil 4. a) Lena görüntüsü, b) Sobel 3×3 , c) Sobel 7×7 , d) Sobel 9×9 (görüntüler ortalama değerlerinde eşiklenmiştir).

IV.2. Topolojik Gradyan İşleçleri

I 'nin değerleri $I(x, y)$ olan ve $p(x, y)$ piksellerini içeren bir görüntü olduğunu varsayalım. W 'nin $(2n+1) \times (2n+1)$ gözlem penceresi olduğunu düşünelim. Gözlem penceresi, görüntünün belirli bir yerinde bulunduğu anda, pencerenin kapladığı alandaki pikselleri gösteren hareketli bir pencere olduğunu varsayalım. Parlak nesnelere için I görüntüsü üzerinde, (x_0, y_0) koordinatları orijin olmak üzere BDH şöyle bulunabilir [19]:

$$BDHp(x, y; x_0, y_0) = \begin{cases} C_w(p(x, y), p(x_0, y_0)) & \begin{matrix} x_0 \in [x-n, x+n], \\ y_0 \in [y-n, y+n] \end{matrix} \\ 0 & \text{değilse} \end{cases} \quad (4)$$

Formül (4), (x_0, y_0) koordinatları, gözlem penceresinin orijini göstermektedir. I^c görüntüsü, I görüntüsünün negatiftir ve her pikselin değeri, L görüntüdeki maksimum piksel değeri olmak üzere, $I^c(x, y) = L - I(x, y)$ şeklinde hesaplanabilir. Parlak nesnelere için tanımlanan haritaya benzer olarak, koyu nesnelere için BDH, I^c görüntüsü üzerinde şöyle hesaplanabilir [20]:

$$BDHk(x, y; x_0, y_0) = \begin{cases} C_w(p(x, y), p(x_0, y_0)) & \begin{matrix} x_0 \in [x-n, x+n], \\ y_0 \in [y-n, y+n] \end{matrix} \\ 0 & \text{değilse} \end{cases} \quad (5)$$

g_x ve g_y , $k \leq n$ olmak üzere $(2k+1) \times (2k+1)$ boyutlarındaki gradyan çekirdeklerini gösterebilir. Buna göre, x eksenini boyunca, parlak ve koyu nesnelere için Topolojik Gradyanlar TG_x^p ve TG_x^k

$$\begin{aligned} TG_x^p(x, y) &= \sum_{\forall x_1, y_1} BDHp(x, y; x_1, y_1) g_x(x_1, y_1) \\ TG_x^k(x, y) &= \sum_{\forall x_1, y_1} BDHk(x, y; x_1, y_1) g_x(x_1, y_1) \end{aligned} \quad (6)$$

denklemleriyle hesaplanabilir [21]. Burada $x_1 \in [x-k, x+k]$, $y_1 \in [y-k, y+k]$ olmak üzere, g_x x eksenini yönündeki gradyan işlevidir.

Benzer şekilde, y eksenini boyundaki yönlü parlak ve koyu nesnelere için

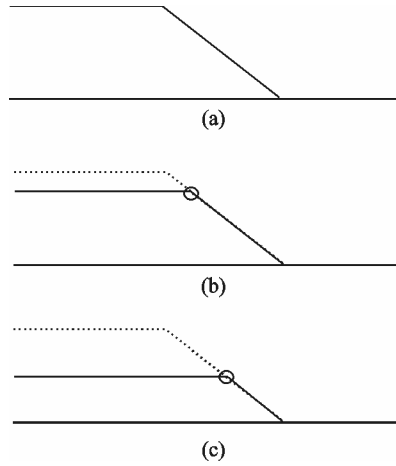
Topolojik Gradyanlar TG_y^p ve TG_y^k ,

$$\begin{aligned} TG_y^p(x, y) &= \sum_{\forall x_1, y_1} BDHb(x, y; x_1, y_1) g_y(x_1, y_1) \\ TG_y^k(x, y) &= \sum_{\forall x_1, y_1} BDHd(x, y; x_1, y_1) g_y(x_1, y_1) \end{aligned} \quad (7)$$

formülleriyle bulunabilir. Toplam topolojik gradyan x ve y koordinatlarındaki gradyanların karelerinin toplamının kareköküdür.

$$\begin{aligned} TG^p &= \sqrt{TG_x^p TG_x^p + TG_y^p TG_y^p} \\ TG^k &= \sqrt{TG_x^k TG_x^k + TG_y^k TG_y^k} \end{aligned} \quad (8)$$

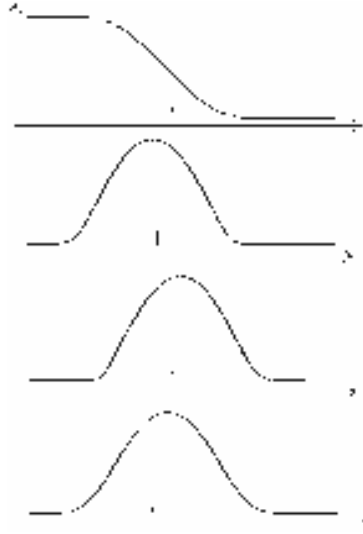
Şekil 5.b ve 5.c, yokuş kenarlar için çeşitli orijin yerlerinde BDH'leri göstermektedir. Orijinler yokuş üzerinde konumlandığında, parlak olan sol tarafın kesildiği görülmektedir. Bu nedenle, topolojik gradyan, geleneksel olana göre daha az genlik üretir.



Şekil 5. a) Yokuş kenar,
b) Yokuş üzerindeki orijin için BDH.
c) Yokuş üzerindeki diğer bir orijin için BDH.

Sobel ve Prewitt gibi geleneksel işlemlerde, yavaş değişen kenarların (Şekil 6.a) etrafında da belirli bir alanda gradyan tepkisi görülmektedir (Şekil 6.d). İşleç

boyutu büyüdükçe, kenar etrafında tepki verilen alan da artmaktadır. Parlak noktalar için topolojik gradyan hesaplanırsa (Şekil 6.b), gradyan değerlerinin kenarın açık renkli tarafında koyu tarafa göre daha yüksek değere sahip oldukları anlaşılabilir. Kenarın koyu bölümünde herhangi bir gradyan değeri üretilmemektedir. Eğer görüntünün negatifi üzerinde topolojik gradyan hesaplanırsa, Şekil 6.b'nin yatay eksene göre simetriği olan Şekil 6.c elde edilir. Topolojik gradyan koyu noktalarda daha fazla tepki verirken, parlak noktalarda tepki şiddeti azalmaktadır. Geleneksel Sobel işleci negatif görüntü üzerinde, normal görüntü üzerinde verdiği tepkinin aynısını verir. (Şekil 6.d).



Şekil 6. a) Yavaş değişen kenar. **b)** Sobel işlecine dayalı parlak nesnelere için topolojik gradyan sonucu. **c)** Sobel işlecine dayalı koyu nesnelere için topolojik gradyan sonucu. **d)** Geleneksel Sobel işleci sonucu.

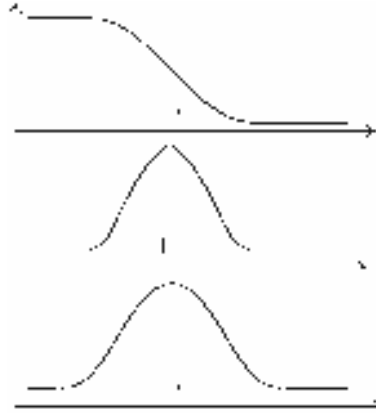
Şekil 6.b ve 6.c karşılaştırılırsa, BDHp ve BDHk'ye dayalı topolojik gradyanların birbirilerini tamamlayacak şekilde kenarla ilgili bilgi verdikleri görülmektedir. Bu çalışmada, koyu ve açık BDH'lere dayanan gradyan değerlerinin belirli bir noktadaki en küçük değerinin alınması önerilmektedir. Bu şekilde geniş işleçlerin, büyüklükleri nedeniyle kenar etrafında verdikleri tepki sadece değişimin olduğu yerde elde edilebilir.

Şekil 7.a'daki yavaş değişen kenar üzerinde, parlak ve koyu noktalar için topolojik Sobel işleci uygulanıp minimumları alındığında, Şekil 7.b elde edilmektedir. Şekil 7.c'de gösterilen geleneksel Sobel işleci kenar etrafında bir miktar tepki verirken, minimumla hesaplanan topolojik gradyan, kenar üzerinde sadece değişimin olduğu bölümde değer üretmektedir.

Bu veriler ışığında bu çalışmada önerilen topolojik gradyan şöyle hesaplanmaktadır

$$TG = \min(TG^b, TG^d) \quad (9)$$

Topolojik Gradyan, TG , işlecin büyük olduğu durumlarda, gradyan tepkisinin sadece piksellerin değiştiği alanlarda oluşmasını sağlamaktadır. Bu şekilde, taşma ve yakındaki nesnelerin kenarlarının birleşmesi sorunlarını ortadan kaldırdığı düşünülmektedir. Aybar'ın [21] önerdiği yöntemde bağlantı haritaları sadece yakındaki nesnelerin gradyana etkisini azaltmak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada parlak ve koyu nesnelere için bulunan BDH'lerdeki birbirini tamamlayan bilgilerin bulunduğu ve bunların nasıl birleştirileceği gösterilmektedir.



Şekil 7. a) yavaş değişen kenar kesiti.
b) Parlak ve koyu noktalar için hesaplanan topolojik Sobel gradyanlarının minimumu.
c) Geleneksel Sobel işleci sonucu.

V. UYGULAMA

Bir kenar bulma algoritmasının başarımının diğerleriyle karşılaştırılması her zaman zor olmuştur. Sentetik ve doğal görüntüler üzerinde performansların ölçüldüğü çeşitli yöntemler bulunmaktadır [22,23]. Bazıları gözlemci kullanarak performansı ölçerken, bazıları kesin doğru olarak kabul edilen görüntülerle kendi elde ettikleri sonuçları karşılaştırmaktadır. Bazı araştırmacılar, kenar bulma algoritmalarının başarımının, daha yüksek seviyeli görüntü işleme görevlerinde uygulandıklarında elde edilen başarıma göre ölçmüşlerdir [24]. En yaygın yöntem, sentetik görüntüler kullanarak, kesin doğru olarak kabul edilen kenar görüntülerinin elde edilenlerle karşılaştırılmasıdır. Doğal görüntülerde ise kesin olarak belirlenmiş doğru kenar görüntüleri bulunmadığından sadece niteliksel olarak karşılaştırma yapılabilmektedir [25]. Bu çalışmada, doğal görüntüler kullanılarak yapılan başarımların ölçme işleminin zorluğu düşünülerek, sentetik görüntülerin kullanılmasına karar verilmiştir. Bununla birlikte, doğal görüntülerden elde edilen kenar görüntüleri de niteliksel olarak karşılaştırılacaktır.

V.1. Gürültü Ortamında Topolojik Gradyan Yönteminin Başarımı

Bağlantı derecesi haritası üzerinde gradyan hesaplanması herhangi bir gradyan işleciyle gerçekleştirilebilir. Bu bölümde, Sobel işleci kullanan topolojik gradyan ölçümü incelenecek ve geleneksel Sobel işleciyle karşılaştırılacaktır. Bu şekilde değiştirilen gradyan ölçümünün, geleneksel yöntemle göre daha iyi çalıştığı gösterilecektir.

Nicelik olarak performansları karşılaştırılabilmek için üzerinde yokuş kenar bulunan 1000×90 'lık bir görüntü oluşturulmuştur. Görüntünün bir satırından alınan kesitteki piksel değerleri

$$I(p(l)) = \begin{cases} 200 & l \leq 43 \\ 200 - 5(l - 43) & 44 \leq l \leq 62 \\ 100 & 63 \leq l \leq 90 \end{cases} \quad (10)$$

formülüyle hesaplanmaktadır. Bu görüntü üzerine değişimleri 5, 10, 15 ve 20 olan Gauss gürültü eklenerek bir dizi görüntü elde edilmiştir. Ardından

$(2k+1) \times (2k+1)$ boyutlarında geleneksel Sobel işleci uygulanmış ve k 'nin değişik değerleri için bir dizi sonuç bulunmuştur. Ayrıca aynı gürültülü görüntüler üzerine $(2k+3) \times (2k+3)$ boyutlarında BDH içinde $(2k+1) \times (2k+1)$ Sobel işleci uygulanmıştır. BDH'nin boyutu, uygulanan Sobel işlecinden biraz daha büyük seçilmiştir.

Bir kenar bulma yönteminin gürültü ortamında nasıl tepki verdiğini ölçebilmek için, iki özelliği bakılması gereklidir. Birincisi, gradyan değerinin kenarın bulunduğu alanın ne kadar dışına taşıdığını belirlemektir. Her iki yöntemin de gradyan değerlerinde değişik büyüklükler vermesi nedeniyle, kenarlardaki gradyan değerleri, kenar üzerinde elde edilen toplam gradyana bölünerek taşıma oranı adını verilen bir değer elde edilecektir. Bu çalışmada her satır için taşıma oranı, TO,

$$TO = \frac{\sum_{l=e_1-k}^{e_1-1} G(p(l)) + \sum_{l=e_2+k}^{e_2+1} G(p(l))}{\sum_{l=e_1}^{e_2} G(p(l))} \quad (11)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada e_1 ve e_2 kenarın başladığı ve bittiği yerleri ifade etmektedir. G ise topolojik gradyan süzgecinin sonucunu göstermektedir.

Ölçülen diğer özellik, gürültünün düz alanlarda ne ölçüde bastırıldığıdır. Düz alanlardaki piksel değerlerinin değişintisi, R

$$R^2 = \frac{\sum_{l=1}^{e_1-k-1} (G(p(l)) - m_g)^2}{e_1 - k - 2} \quad (12)$$

formülüyle hesaplanabilir. Formülde m_g düz alandaki piksel değerlerinin ortalama değerini göstermektedir. Değişinti küçük olduğunda, gürültünün bastırıldığı anlamına gelmektedir.

Çizelge 1. 7×7 gradyan çekirdek için çeşitli gürültü oranlarında taşma oranları.

Gürültü σ	9×9 BDH			
	içinde 7×7 Sobel		7×7 Sobel	
	TO	R	TO	R
0	0.000	0.00	0.007	0.00
5	0.075	9.46	0.084	22.85
10	0.113	19.19	0.120	46.29
15	0.137	28.61	0.147	68.95

Çizelge 2. 11×11 gradyan çekirdek için çeşitli gürültü oranlarında taşma oranları.

Gürültü σ	13×13			
	BDH içinde 11×11 Sobel		11×11 Sobel	
	BR	R	BR	R
0	0.000	0.00	0.099	0.00
5	0.164	19.31	0.176	47.16
10	0.203	38.88	0.216	95.55
15	0.235	57.65	0.251	142.98

Çizelge 1 ve 2, değişik gürültü seviyeleri için taşma oranlarını göstermektedir. Gürültü olmadığı zaman taşma oranının sıfır olduğu görülmektedir. Eğer gürültü artarsa, topolojik Sobel için taşma oranları her zaman geleneksel Sobel'in oranlarından düşüktür. Topolojik Sobel'in en önemli avantajlarından biri, düz alanlardaki değişinti (varyans) değeri olan R 'nin diğerine göre oldukça düşük olmasıdır. Bu şekliyle topolojik Sobel gürültü bastırma oranları açısından, diğerine göre daha başarılıdır.

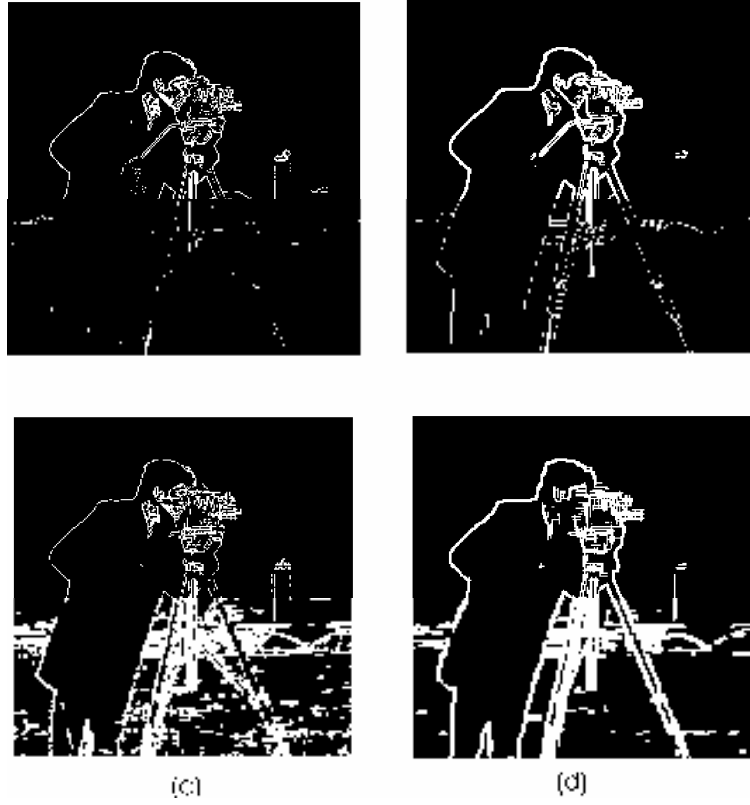
V.2. Doğal Görüntüler

Nitelik olarak önerilen topolojik Sobel işleçlerinin doğal görüntüler üzerinde nasıl çalıştığını göstermek için, Kameraman (Şekil 8) resmi seçilmiştir. Kameraman görüntüsü, geri planda yer alan yapılar ve kamera üzerindeki ayrıntılar nedeniyle kenar bulma algoritmalarının uygulandığı sınama görüntülerinden biridir.



Şekil 8. Kameraman adlı sinama görüntüsü.

Kameraman görüntüsüne (Şekil 8) uygulanan 3×3 ve 13×13 topolojik ve standart Sobel işleçlerinin sonuçları Şekil 9'da gösterilmektedir. Şekil 9.a'da 5×5 BDH üzerinde 3×3 Sobel işleci uygulanmıştır. Şekil 9.c 15×15 BDH üzerinde 13×13 Sobel uygulanmasıyla elde edilmiştir. Buna karşılık gelen 3×3 ve 13×13 'lük geleneksel Sobel işleçlerinin sonuçları Şekil 9.b ve 9.c'te gösterilmektedir. Şekil 9.a ve 9.b incelenirse, her iki görüntünün birbirine çok yakın olduğu anlaşılmaktadır. Geleneksel Sobel'e göre ayrıntılar daha belirginken, gradyan çizgileri de daha incedir. Süzgecin yapısında, iki gradyan ölçümünün minimum değeri seçildiğinden silik ayrıntıların ayrık pikseller olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Tek başına duran pikseller ve silik ayrıntılardan ortaya çıkan piksel grupları topolojik Sobel'de işleç büyüklüğü arttıkça azalmaktadır.



Şekil 9. a) 5×5 'lik BDH içinde 3×3 Sobel işleci.
 b) 3×3 'lük standart Sobel işleci.
 c) 15×15 'lik BDH içinde 13×13 'lük Sobel işleci,
 d) Geleneksel 11×11 Sobel

VI. SONUÇLAR

Bu çalışmada, bulanık topoloji kullanarak oluşturulan bağlantı derecesi haritalarına dayanan ön yumuşatma işlemi kullanılarak, daha geniş gradyan işleçlerinin görüntülere daha sorunsuz şekilde uygulanabileceği bir yöntem sunulmuştur. Önerilen topolojik gradyan, sadece değişimin gerçekleştiği yerde tepki vermekte ve yakın kenarların etkisini azaltmaktadır.

Bağlantı derecesi haritaları, sadece türeve dayalı işleçlere eklenebilecek bir yöntem değildir. Belirli bir gözlem penceresi içinde kenar bulmaya yarayan bütün algoritmalarda kullanılabilir. Gelecekte BDH kavramının, LoG, izotropik difüzyon gibi yöntemlerde de kullanılması için üzerinde çalışılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] D. Marr ve E. Hildreth. "Theory of Edge Detection," Proc. R. Soc. Lond. A, Math. Phys. Sci., Vol. B s. 207, 1980.
- [2] M. Garcia-Silvente, J. A. Garcia, J. Fdez-Valdivia ve A. Garrido, "A New Edge Detector Integrating Scale-Spectrum Information", Image and Vision Computing Vol. 15, No. 12, ss. 913-923, 1997.
- [3] J. F. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 8, No. 6, ss. 679-698, 1986.
- [4] P. Perona ve J. Malik, "Scale-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion," IEEE Trans. On PAMI, Vol. 12, No. 6, ss. 629-639, 1990.
- [5] Y. Lu ve R. C. Jain, "Reasoning About Edges in Scale Space", IEEE Transactions On Pattern An. and Mach. Intel.. Vol. 14. No. 4, ss.337 – 356, 1992.
- [6] S. Mallat ve S. Zhong, "Characterization of Signals from Multiscale Edges", IEEE Transactions on PAMI, Vol. 14, No. 7, ss. 710 – 732, 1992.
- [7] J. F. Canny, "Finding Edges and Lines in Images", Technical Report, MIT AI Lab., 1983.
- [8] B. Tremblais ve B. Augereau, "A Fast Multi-scale Edge Detection Algorithm", Pattern Recognition Letters, Vol. 25, ss. 603–618, 2004.
- [9] S. Konishi, A.L. Yuille, J. M. Coughlan ve S. C. Zhu, "Statistical Edge Detection: Learning and Evaluating Edge Cues", IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, Vol. 25, No. 1, ss. 57-74, 2003.
- [10] D. Demigny, "On Optimal Linear Filtering for Edge Detection," IEEE Transactions On Image Processing, Vol. 11, No. 7, s. 728, 2002.
- [11] M. Basu, "Gaussian-Based Edge-Detection Methods: A Survey", IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics, Part C: Applications And Reviews, Vol. 32, No. 3, ss. 252-260, 2002.
- [12] E. D. Michell, B. Caprile, P. Ottonello ve V. Torre, "Localization and Noise in Edge Detection", IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence. Vol 11. No 10, ss. 1106-1117, 1989.

- [13] J. J. Clark, "Authenticating Edges Produced by Zero-Crossing Algorithm", IEEE Trans. On Pattern Anal. and Mach. Intel., Vol. 11 . No. 1. ss. 43 – 57, 1989.
- [14] L. Ding ve A. Goshtasby, "On Canny Edge Detector", Pattern Recognition, Vol. 34, No. 3, ss. 721-725, 2001.
- [15] M. M. Fleck, "Some Defects in Finite-Difference Edge Finders" IEEE Transactions on Pattern An. and Machine Intelligence. Vol. 14, No. 3, s. 337, 1992.
- [16] F. Heijden, "Edge and Line Feature Extraction Based on Covariance Models", IEEE Transactions on Pat. Ana. Mach. Intel., Vol.17, No. 1, ss.16-33, 1995.
- [17] A. Rosenfeld, "Fuzzy Digital Topology," Information and Control, Vol. 40, No. 1, ss. 76–87, 1979.
- [18] K. Suzuki, I. Horiba ve N. Sugie, "Neural Edge Enhancer for Supervised Edge Enhancement from Noisy Images", IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, Vol. 25, No. 12, ss. 1582-1596, 2003.
- [19] U. Braga-Neto ve J. Goutsias, "Grayscale Level Connectivity: Theory and Applications", IEEE Trans. On Image Proc., Vol. 13, No. 12, ss. 1567 – 1580, 2004.
- [20] H. G. Senel, R. A. Peters ve B. Dawant, "Topological Median Filters", IEEE Transactions On Image Processing, Vol. 11, No. 2, ss. 89 – 104, 2002.
- [21] E. Aybar, "Topolojik Kenar İşleçleri", Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, 2004.
- [22] M. S. Prieto ve A. R. Allen, "A Similarity Metric for Edge Images", IEEE Trans. On Pattern An. And Machine Intelligence, Vol. 25, No. 10, ss. 1265 – 1273, 2003.
- [23] R. R. Rolda, J. F. Gomez, C. Atae-Allah, J. Martines-Aroza, ve P. L. Luque-Escamilla, "A Measure of Quality for Evaluating Methods of Segmentation and Edge Detection," Pattern Recognition 34, ss. 969–980, 2001.
- [24] M. C. Shin, D. B. Goldgof ve K. W. Bowyer, "Comparison of Edge Detector Performance through Use in an Object Recognition Task", Computer Vision and Image Understanding, Vol. 84, ss. 160–178, 2001.
- [25] M. Heath, S. Sarkar, T. Sanocki ve K. Bowery, "Comparison of Edge Detectors: A Methodology and Initial Study," Computer Vision And Image Understanding Vol. 69, No. 1, ss. 38-54, 1998.

