



RENKLİ İMGELERDE ÇOKLU GÜRÜLTÜ GİDERME İŞLEMİ İÇİN İKİ AŞAMALI BİR YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ

Ahmet ULU^{a*}, Yusuf ÖZEN^a, Ercüment ÖZTÜRK^a, Bekir DİZDAROĞLU^a

^aKaradeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Türkiye

*Sorumlu Yazar: ahmet.ul@ktu.edu.tr

ÖZET

Sayısal imgenin elde edilmesi, aktarılması ve çoğaltılması gibi çeşitli nedenlerle imgede gürültü olarak adlandırılan bozucu etkiler meydana gelmektedir. İmgede gürültü azaltma işlemi görüntü işleme alanında yapılan çalışmalarda temel bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada en çok karşılaşılan gürültü tiplerinden olan toplamsal beyaz Gauss gürültüsü ve Tuz&Biber gürültüsünün karışık bulaştığı renkli imgelerde gürültü giderilmesi için otomatik olarak çalışan değişimsel tabanlı bir yöntem önerilmiştir. İlk olarak gürültü bulaşmış renkli imgede adaptif ortanca filtre kullanılarak Tuz&Biber gürültüsü bulaşmış piksellerin konumu belirlenmiş ve bu pikseller ayrıştırılmıştır. Gauss gürültüsünün seviyesinin belirlenmesi için istatistiksel bir yöntem olan kendall tau sıra ilişkisine bakılarak homojen bölgeler tespit edilmiştir. Elde edilen homojen bölgeler dikkate alınarak Gauss gürültüsünün seviyesi en az hata kestirilmiştir. Daha sonra iyileştirilmiş iz tabanlı yaklaşım ve L2 norm uygunluk terimi kullanılarak Gauss gürültüsünün giderilmesi işlemi yapılmıştır. Yapı ve doku bilgisi korunarak Gauss gürültüsü giderilmiş renkli imgeye ayrıştırılan Tuz&Biber gürültüsü tekrar eklenmiştir. Son olarak Tuz&Biber gürültüsü azaltma işlemi iz tabanlı yaklaşım ve L1 norm uygunluk terimi ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar yöntemin başarısını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Renkli İmge. Çoklu Gürültü. Gürültü Azaltma.

ABSTRACT

Corruptive effects named noise may occur in an image due to various reasons such as image acquisition, transferring and duplication. Image noise reduction process is a fundamental problem for works in image processing field. In this study, an automated variational method is proposed for noise removal in color images contaminated by mixed Gaussian noise and Salt&Pepper noise which are one of the most common noise types. Firstly, pixel locations which contaminated by Salt&Pepper noise are determined in noisy color image using adaptive median filter and these pixels are separated. For Gaussian noise level detection, homogeneous regions are detected by kendall tau rank correlation which is an statistical method. By taking into account those regions, variation of Gaussian noise is estimated with minimal error. Then, Gaussian noise removal is performed using improved trace based method and L2 norm fidelity term. Salt&Pepper noise is readded to color image which is Gaussian noise is removed by preserving structure and texture information. Finally, Salt&Pepper noise removal process is carried out using trace based method and L1 norm fidelity term. The obtained results show performance of the method.

Keywords: Color Image. Multiple Noise. Noise Reduction.

1.GİRİŞ

İmgede gürültü gri seviye imgelerde piksel yoğunluk değerlerinde ya da renkli imgelerde her bir kanal bileşeninde rastgele salınımlar olarak ortaya çıkan istenmeyen etkiler olarak tanımlanabilir. İdeal olmayan sensörler, yüksek sıcaklık gibi çevresel faktörler, imgenin iletimi ya da sıkıştırılması işlemleri genel olarak gürültüye neden olabilmektedir. En çok karşılaşılan gürültü tipleri Gauss gürültüsü ve tuz&biber gürültüsüdür. Bu gürültü tipleri bir imgeye ayrı ayrı bulaşabileceği gibi aynı anda da bulaşabilmektedir. Gauss gürültüsünün giderilmesi için alçak geçiren süzgeç ve tuz&biber gürültüsünün giderilmesi için ise ortanca filtre kullanılabilir. Ancak gürültünün giderilmesi sırasında imgede yapı ve doku bilgisi kaybedilmektedir. Bu yüzden literatürde renkli imgeler için yapı ve doku bilgisini koruyan bir çok gürültü azaltma yöntemi önerilmiştir [1-3]. Son zamanlarda renkli imgelerde gürültü azaltma işlemlerinde özellikle diferansiyel denklem tabanlı yöntemler ön plana çıkmaktadır.

Cai ve arkadaşları tuz-biber ve Gauss gürültüsü birlikte bulaşmış gri seviye imgeler için iki aşamalı bir yöntem önermişlerdir [1]. Shi ve arkadaşları da yine gri seviye imgeler için yapmış oldukları bir çalışmada ıraksamasız bir yöntem önermişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada uygunluk terimini kontrol eden λ katsayısını gürültü ve gürültü bulaşmamış piksellerin tespitini yapacak şekilde düzenleyerek ikili gürültü bulunan imgelerde başarılı sonuçlar elde etmişlerdir [2]. Gilboa ve arkadaşları diferansiyel denklem tabanlı çalışmalarında yapı ve doku bilgisini koruyan bir yöntem geliştirmişler [3]. Gri seviye imgeler için başarılı bir yöntem olmasına rağmen renkli imgelerde kanalların ayrı ayrı düşünülmesinden dolayı başarısız olmaktadır. Kanalların ayrı ayrı düşünülmesi imgede yer alan ayrıtılarının tutarlı bir şekilde elde edilememesine ve gürültü azaltma işlemi sırasında renklerin birbirine karışmasına sebep olmaktadır [4]. Son zamanlarda gürültü seviyesinin belirlenmesi için de çalışmalar yapılmaktadır [5]. Gürültü seviyesinin belirlenmesi, gürültü azaltma işlemi sırasında bazı parametrelerin belirlenmesi için önemlidir.

Bu çalışmada Gauss ve tuz-biber gürültülerinin birlikte bulaştığı renkli imgeler için iki aşamalı diferansiyel denklem tabanlı bir yöntem önerilmiştir. İlk olarak tuz-biber gürültüsü bulaşmış piksellerin tespiti için adaptif ortanca filtre kullanılmış ve gürültülü pikseller ayrıştırılmıştır. Gauss gürültüsü seviyesinin belirlenmesi için ise parametrik olmayan bir yöntem kullanılmış ve L2 norm uygunluk terimi içeren iz tabanlı yaklaşım ile Gauss gürültüsü giderilmiştir. Tuz-biber gürültüsü bulaşmış pikseller için ise L1 norm uygunluk terimi içeren iz tabanlı yaklaşım ile gürültü azaltma işlemi yapılmıştır.

2.MATERYAL VE METOT

2.1. Gürültü Seviyesinin Belirlenmesi

Renkli bir imgede Gauss gürültü seviyesinin belirlenebilmesi için ilk olarak adaptif ortanca filtre [6] ile tuz-biber gürültüsü bulaşmış pikseller belirlenmektedir. Tuz-biber gürültüsü bulaşmış pikseller imgeden ayrıştırılmakta ve Gauss gürültü seviyesinin kestiriminde dikkate alınmamaktadır. Gauss gürültü seviyesinin belirlenmesi için ilk olarak imgede homojen bölgelerin tespiti yapılmaktadır. Homojen bölgeler tespit edildikten sonra gürültünün seviye kestirimi bu bölgeler üzerinde yapılmaktadır.

Renkli bir imge, $\Omega = (y)ükseklik \times (g)enişlik$ bölgesinde $I = (I_1, I_2, I_3)^T: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^3$ şeklinde tanımlansın ve gürültülü renkli bir imge aşağıdaki gibi ifade edilsin:

$$f = I + n_G + n_{T-B} \quad (1)$$

Burada n_G Gauss gürültüsünü, n_{T-B} tuz-biber gürültüsünü, I orijinal imgeyi f ise gürültülü imgeyi ifade etmektedir. Adaptif ortanca filtre n_{T-B} ile ifade edilen tuz-biber gürültüsü ayrıştırıldıktan sonra homojen bölgelerin algılanması işlemi yapılmıştır. Bunun için gürültünün istatistikinden bağımsız bir yöntemden faydalanılmıştır. Bu amaçla [7]'de Kendall τ katsayılarına bağlı parametrik olmayan bir metod geliştirilmiştir. Örnek vermek gerekirse, renkli imgede w, NxN boyutunda bir blok olmak üzere içerisinden n elemanlı A ve B şeklinde rastgele iki dizi seçilsin: $\{A(1), A(2), \dots, A(n)\}$ ve $\{B(1), B(2), \dots, B(n)\}$. Buna göre Kendall katsayısı, $\tau \in [-1, 1]$ aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\tau = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{1 \leq i, j \leq n} \text{sign}(A(i) - A(j)) \text{sign}(B(i) - B(j)) \quad (2)$$

Burada $i \neq j$, $A(i) \neq A(j)$ ve $B(i) \neq B(j)$ olduğu varsayılmaktadır. $\tau = 0$ olarak elde edilirse, A ve B dizileri arasında bir ilişki yoktur, $\tau = 1$ olarak elde edilirse, A ve B dizileri arasında doğru yönde tam bir ilişki, $\tau = -1$ olarak elde edilirse A ve B dizileri arasında ters yönlü tam bir ilişki vardır denilir. Renkli bir imgenin blokları içerisinde pikseller arasında eşitlik olabileceği için Kendall τ katsayısının bağımlı ikililer olması durumunda doğru bir şekilde hesaplanması için iyileştirilmiş yöntemler geliştirilmiştir [5].

Renkli imgede homojen blokların tespiti için, $w \times N \times N$ boyutunda bir blok olmak üzere, seçilen bloktaki piksel değerleri, tek boyutlu iki ayrıştırılmış diziye atılır: $K_1 = f^w(2i)$ ve $K_2 = f^w(2i + 1)$. Kendall τ yöntemi yardımıyla bu iki dizi arasındaki ilişkiye bakılır. Eğer herhangi bir ilişki yoksa, blok içerisinde bir yapı olmadığı düşünülerek ilgili blok homojen olarak işaretlenir. Blok içerisindeki pikseller için ilişkiye bakılırken dört yön dikkate alınmıştır: Yatay, dikey ve iki diyagonal yön. Bu bağlamda sıfır hipotezi altında hesaplanan $p_{yön}$ değeri önceden tanımlanmış olan bir eşik değerini aşarsa bu blok homojen bir bloktur denilebilir:

$$\alpha_{algılanan} \sim \mathbb{P}(\cap_{yön=1}^4 \{p_{yön} > \alpha\}) \quad (3)$$

Burada yer alan $p_{yön}$ değeri Gauss dağılımına sahip birikimli dağılım fonksiyonunu, $\mathbb{P}(\cdot)$ ise, sıfır hipotezine bağlı koşullu olasılığı ifade etmektedir [5].

Sunulan yöntemde, algılanan homojen bloklar üzerinde Gauss gürültüsüne ait standart sapmanın kestirimini yapmak için [4]'deki yaklaşım dikkate alınmıştır:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{2} \pi \frac{1}{18(y-2)(s-2)} \sum_{i=1}^3 \sum_{(x,y) \in \Omega} |f_i(x,y) * G|} \quad (4)$$

Burada $G = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$ değerlerini içeren Laplace maskelerinden elde edilmiş ayrıt bilgilerini elemine etmeye yarayan bir süzgeçtir ve $*$ ise evrişim işlecini ifade etmektedir.

Gürültülü renkli imgede yayılım içinse [1]'deki yöntem, iz tabanlı yöntem [8] uyarlanmıştır [4]. İlgili yöntemde ilk olarak, imgeye ait yapı bilgisi elde edilmekte ve buradan hareketle kalıntı imgesi bulunmaktadır. İkinci adımda, kalıntı imgesi göz önüne alınarak yayılımı iyileştirmek için yöntemde ait bazı parametreler düzenlenmektedir. Üçüncü adımda, gürültülü imgenin hem yapı hem doku bilgisi en iyi şekilde korunarak Gauss gürültüsü indirgenmiş renkli imge elde edilmektedir. Son adım olarak ise adaptif ortanca filtre ile ayrıştırılan tuz-biber gürültüsü imgeye eklenmekte, ikinci ve üçüncü adım uygunluk teriminin değiştirilmesiyle tekrarlanmaktadır. Yapılan son işlemde renkli gürültülü imgede yer alan tuz-biber gürültüsü de giderilerek gürültüsü giderilmiş imge elde edilmektedir.

2.1. Gauss ve Tuz-Biber Gürültüsünün Giderilmesi

İz tabanlı yaklaşımda, aşağıdaki gibi ifade edildiği üzere ilk olarak renkli imgede yer alan her bir piksel için yapı tensörü hesaplanır:

$$\mathbf{G} = \sum_{i=1}^3 \nabla u_i \nabla u_i^T = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Burada $\mathbf{u} = (u_1, u_2, u_3)^T$ işlenen imgeyi ifade etmektedir, $\nabla u_i = [\partial u_i / \partial x, \partial u_i / \partial y]^T$ ise RGB renkli imge için, renk kanallarına ait ayrı ayrı gradyan vektör alanını temsil etmektedir ($1 \leq i \leq 3$). Yapı tensöründen hareketle λ^\pm pozitif özdeğerler ve birbirine dik olan φ^\pm özvektörler aşağıdaki ifadelerle hesaplanır:

$$\lambda^{\pm} = 0.5 \times (g_{11} + g_{22} \pm \sqrt{(g_{11} - g_{22})^2 + 4g_{12}^2}) \quad (6)$$

$$\varphi^{\pm} // [2g_{12}, g_{22} - g_{11} \pm \sqrt{(g_{11} - g_{22})^2 + 4g_{12}^2}]^T \quad (7)$$

Burada λ^{\pm} pozitif özdeğerler, renkli imgede değişimin miktarını ve φ^{\pm} özvektörler ise değişime ait yönü ifade etmektedir. Renkli gürültülü imgede daha tutarlı sonuçlar elde etmek için yapı tensörü bir Gauss süzgecinden geçirilebilir, $\mathbf{G}_{\sigma} = \mathbf{G} * G_{\sigma}$. Burada G_{σ} , σ standart sapmalı Gauss süzgecini ifade etmektedir.

İkinci adım olarak yöntemde, renkli bir imgede gürültüyü gidermek için yayılım tensörü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\mathbf{D} = s^-(\lambda^+, \lambda^-) \varphi^- \varphi^{-T} + s^+(\lambda^+, \lambda^-) \varphi^+ \varphi^{+T} \quad (8)$$

Burada, $s^{\pm}: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ tanımlı bir fonksiyon ve φ^{\pm} özvektörlerine göre yön bağımlı olarak imgedeki gürültü giderme işleminde kullanılmaktadır:

$$s^-(\lambda^+, \lambda^-) = (1 + \lambda^+ + \lambda^-)^{-a_1} \quad (9)$$

$$s^+(\lambda^+, \lambda^-) = (1 + \lambda^+ + \lambda^-)^{-a_2} \quad (10)$$

Burada $a_1 < a_2$ olmak üzere iz tabanlı yaklaşım ile gürültü azaltma işlemi için enerji fonksiyoneli, düzenleme terimine ve uygunluk terimine göre aşağıdaki gibi tanımlanabilir [1]:

$$\mathbf{E}_1 = \int_{\Omega} \left(\Phi(|\nabla \mathbf{u}|) + \frac{1}{2} \lambda \times (\mathbf{f} - \mathbf{u})^2 \right) dx dy \quad (11)$$

Burada düzenleme teriminde kullanılan $\Phi(\cdot)$ genel amaçlı bir fonksiyoneldir ve uygunluk teriminin derecesini kontrol eden λ katsayısı her bir iterasyonda aşağıdaki gibi optimize edilmektedir:

$$\lambda = \frac{1}{4.5|\Omega|\bar{\sigma}_n} \sum_{i=1}^3 \int_{\Omega} \text{trace}(\mathbf{D}\mathbf{H}_i)(\mathbf{u} - \mathbf{f}) dx dy \quad (12)$$

Euler-Lagrange metoduna bağlı iteratif eğim inişi yöntemi ile iz tabanlı yöntemde gürültü azaltma işlemi için aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\begin{cases} \mathbf{u}(x, y; t = 0) = \mathbf{f}(x, y) \\ \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = \text{trace}(\mathbf{D}\mathbf{H}_i) + \lambda \times (\mathbf{f} - \mathbf{u}) \\ \mathbf{u}^{(n+1)} = \mathbf{u}^{(n)} + \Delta t \times (\partial \mathbf{u} / \partial t)^{(n)} \end{cases} \quad (13)$$

Burada $\text{trace}(\cdot)$ matrisin izini, n iterasyon sayısı, Δt zaman adımı sabiti ve \mathbf{H}_i Hessian matrisini ifade etmekte olup, gürültü bilgisini içeren kalıntı imgesi aşağıdaki şekilde elde edilmektedir.

$$\mathbf{u}_K = \mathbf{f} - \mathbf{u} \quad (14)$$

Buna göre süzgeçleme işlemi yardımıyla kalıntı imgesine ait yerel değişim aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{P}_K(\mathbf{x}) = \frac{1}{|\Omega|} \int_{\Omega} (\mathbf{u}_K(\tilde{x}, \tilde{y}) - \eta[\mathbf{u}_K])^2 G_{\sigma}(\tilde{x}, \tilde{y}) d\tilde{x} d\tilde{y} \quad (15)$$

Burada $\eta[\cdot]$, normalize edilmiş G_{σ} süzgecine bağlı ortalama değerleri göstermektedir. Buna göre enerji fonksiyoneli yeniden ifade edilirse:

$$\mathbf{E}_2 = \int_{\Omega} \left(\Phi(|\nabla \mathbf{u}|) + \frac{1}{2} \lambda(\mathbf{x}) \times P_{K^*}(\mathbf{x}) \right) dx dy \quad (16)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada \mathbf{u} imgesine bağlı Euler-Lagrange denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\bar{\lambda}(\mathbf{x})(\mathbf{u} - \mathbf{f}) - \text{trace}(\mathbf{DH}_i) = 0 \quad (17)$$

Burada $\bar{\lambda}(\cdot)$ Gauss çekirdeğine bağlı elde edilmiş beklenen değerlerdir. Eşitlik (16) iteratif eğim inişi yöntemine göre çözümlerse:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = \bar{\lambda}(\mathbf{x})(\mathbf{f} - \mathbf{u}) + \text{trace}(\mathbf{DH}_i) \quad (18)$$

elde edilir. Dürtü gürültüsü içinse enerji fonksiyoneli aşağıdaki gibi tanımlanabilir [9]:

$$\mathbf{E}_3 = \int_{\Omega} (\Phi(|\nabla \mathbf{u}|) + \lambda \times |\mathbf{f} - \mathbf{u}|) dx dy \quad (19)$$

Euler-Lagrange yaklaşımı ve iteratif eğim inişi yöntemine bağlı iz tabanlı ile dürtü gürültüsü azaltma işlemi için

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = \text{trace}(\mathbf{TH}_i) + \lambda \times \text{sign}(\mathbf{f} - \mathbf{u}) \quad (20)$$

eşitliği verilebilir. Burada $\text{sign}(\cdot)$ işaret fonksiyonunu ifade etmektedir. Diğer işlemler, bazı değişiklikler dışında, Gauss gürültüsü azaltma işlemindeki ile benzer bir şekilde yapılmaktadır.

3.DENEYSEL BULGULAR

Deney işlemlerinde 512×512 boyutlarında 'Lena' renkli imgesinden faydalanılmıştır. Yöntem C++ dilinde gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar için karşılaştırma metriği olarak tepe işareti gürültü oranı(PSNR) ve yapısal benzerlik indisi(YBI) kullanılmıştır. Hesaplanmaları aşağıdaki gibidir [10].

$$\text{PSNR} = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{\text{OKH}}} \right) \quad (21)$$

$$\text{YBI} = \text{ortalama} \left(\frac{(2\mu_1\mu_u + C_1)(2\sigma_{1u} + C_2)}{(\mu_1^2 + \mu_u^2 + C_1)(\sigma_1^2 + \sigma_u^2 + C_2)} \right) \quad (22)$$

Burada $\text{OKH} = \frac{1}{3|\Omega|} \sum_{i=1}^3 \int_{\Omega} (\mathbf{u}_i - \mathbf{f}_i)^2 dx dy$ şeklinde tanımlanmakta ve μ_1 ve μ_u yerel ortalama değerleri, σ_1^2 ve σ_u^2 yerel değişimleri, σ_{1u} yerel ortak değişimi ifade etmekte olup $C_1 = (0.01 \times 255)^2$ ve $C_2 = (0.03 \times 255)^2$ şeklinde tanımlı sabit değerlerdir.



Şekil 1. Çoklu Gürültü Giderme: a) 'Lena' test imgesi, b) $\sigma=15$ Gauss ve %5 tuz-biber gürültülü imge, c) Önerilen yöntem ile sadece Gauss gürültüsü azaltılmış sonuç imge, d) Önerilen yöntem ile Gauss ve tuz-biber gürültüsü azaltılmış sonuç imgesi (PSNR = 29.05 dB ve YBI = 0.97), e) iz tabanlı yöntem [8] ile elde edilen sonuç (PSNR = 27.67 dB ve YBI = 0.96).



Şekil 2. Çoklu Gürültü Giderme: a) 'Barbara' test imgesi, b) $\sigma=10$ Gauss ve %5 tuz-biber gürültülü imge, c) Önerilen yöntemle sadece Gauss gürültüsü azaltılmış sonuç imgesi, d) Önerilen yöntem ile Gauss ve tuz-biber gürültüsü azaltılmış sonuç imgesi (PSNR = 27.51 dB ve YBI = 0.86), e) iz tabanlı yöntem [8] ile elde edilen sonuç (PSNR = 24.01 dB ve YBI = 0.58).

4.SONUÇLAR

Bu çalışmada Gauss ve Tuz-biber gürültüsünün aynı anda bulaştığı renkli imgelerde başarılı bir şekilde gürültü azaltma işlemi yapan geliştirilmiş bir yöntem önerilmiştir. İlk adım olarak imgede tuz-biber gürültüsü bulaşmış pikselleri belirlemek için adaptif ortanca filtre kullanılmıştır. Gauss gürültüsünü indirgemek için L2 norm uygunluk terimi kullanılarak yumuşatma işlemi yapılmış, sonrasında tuz-biber gürültüsünü indirgemek için ise L1 norm uygunluk teriminden faydalanılmıştır. İki farklı metrik için elde edilen sonuçlar önerilen yöntemin başarısını göstermektedir. Sonraki çalışmalarda farklı gürültü tipleri içinde gürültü giderme işlemi yapan bir yöntem geliştirilecektir.

5.KAYNAKÇA

1. Cai JF, Chan RH, Nikolava M., "Two-phase approach for deblurring images corrupted by impulse plus Gaussian noise", *Inverse Problems and Imaging*, Vol. 2, Pages 187-204, 2008.
2. Shi K, Zhang D, Guo Z, Sun J, Wu B., "A non-divergence diffusion equation for removing impulse noise and mixed Gaussian impulse noise", *Neurocomputing*, Vol. 173, Issue 3, Pages 659-670, 2016.
3. Gilboa G, Sochen N, Zeevi YY., "Variational Denoising of Partly Textured Images by Spatially Varying Constraints", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 15, Issue 8, Pages 2281-2289, 2006.
4. Ulu A., Dizdaroğlu B., "Variational Additive Noise Removal of Color Images", *24th Signal Processing and Communication Application Conference*, Pages 1385-1388, Zonguldak, 2016.
5. Ulu A., Dizdaroğlu B., "Automated removal of Gaussian noise in color images", *25th Signal Processing and Communication Application Conference*, Pages 1-4, Antalya, 2017.
6. Hwang H, Haddad RA., "Adaptive median filters: new algorithms and results", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 4, Issue 4, Pages 499-502, 1995.
7. Sutour C, Deledalle CA, Aujol JF., "Estimation of the Noise Level Function Based on a Nonparametric Detection of Homogeneous Image Regions", *SIAM Journal on Imaging Sciences*, Vol. 8 Issue 4, Pages 2622-2661, 2015.
8. Tschumperle D, Deriche R., "Vector-Valued Image Regularization with PDE's: A Common Framework for Different Applications", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 27 Issue 4, Pages 506-517, 2005.
9. Nikolova M., "A Variational Approach to Remove Outliers and Impulse Noise", *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Vol. 20, Issue 1-2 Pages 99-120, 2004.
10. Wang Z, Bovik AC, Sheikh HR, Simoncelli EP., "Image Quality Assessment: From Error Measurement to Structural Similarity", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 13, Issue 4, Pages 600-612, 2004.