



Alınış tarihi (Received): 08.06.2017  
Kabul tarihi (Accepted): 12.07.2017

Baş editor/Editors-in-Chief: **Ebubekir ALTUNTAŞ**  
Alan editörü/Area Editor: **Gökay BAYRAK**

## Tuz-Biber Gürültüsünde Tekrarsız Medyan Filtre

Uğur ERKAN<sup>a,\*</sup> Levent GÖKREM<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Erbaa Meslek Yüksekokulu, 60500, Tokat-Türkiye

<sup>b</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, 60250, Tokat-Türkiye (levent.gokrem@gop.edu.tr)

Sorumlu yazar, e-posta: ugur.erkana@gop.edu.tr

**ÖZET:** Bu çalışmada lineer olmayan alçak geçiren bir filtre geliştirilmiştir. Bu yeni yöntem yeni piksel değerine, pencere içerisinde piksellerden yeni bir küme oluşturarak karar vermektedir. Yöntemin gürültü sonuçları tuz-biber gürültüsünde test edilmiştir. Yöntemi karşılaştırmak için Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) ve Structural Similarity (SSIM) ölçütleri kullanılmıştır. Yeni geliştirilen yöntem Median Filtre (MF) ve Adaptive Median Filtre (AMF) ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için 18 adet test görüntüsü kullanılmıştır. Yeni geliştirilen yöntem 18 adet test görüntüsüne ait tüm PSNR sonuçlarında diğer yöntemlerden daha başarılı olmuştur.

**Anahtar Kelimeler** – Tuz-biber gürültüsü, Medyan Filtre, gürültü azaltma

## Median Filter without Repetition in Salt and Peppers Noise

**ABSTRACT:** In this paper, we developed a non-linear low pass filter. This new method determines the new pixel value by creating a new set of pixels inside the window. The results of the method regarding noise were tested against the salt-pepper noise. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) and Structural Similarity (SSIM) criteria were used to compare the method. The newly developed method is compared with Median Filter (MF) and Adaptive Median Filter (AMF) against 18 test images. The newly developed method is more successful than all other methods in all PSNR results of 18 test images.

**Keywords** – Salt and Pepper noise, Median Filter, Image Denoising

## 1. Giriş

Görüntü işleme her geçen gün daha fazla kullanılmakta ve kullanım alanı genişlemektedir. Görüntü işlemede son yıllarda en popüler alanlardan birisi, görüntüden gürültünün temizlenmesi olmaktadır (Thanh ve ark., 2016). Görüntü işlemede ilk aşama, görüntüyü elde etme aşamasıdır. Görüntü elde edilirken değişik sebeplerden dolayı görüntü gürültüyle kirlenmektedir. Dijital kameralar, CCD veya CMOS sensör gibi görüntüleme cihazlarının ekipmanları görüntüyü birbirini takip eden foton-elektron, elektron-voltaj ve voltaj-dijit dönüşümü ile elde etmektedirler (Makitolo ve Foi, 2013). Görüntü elde edilirken, analog bileşenlerdeki (sensör ve yükselteç vb.) hatalar yüzünden görüntü dijitalleştirme, sinyal yükseltme ve iletimi veya analog-dijital çevirme işleminde zamanlama hatası gibi işlemler esnasında görüntünün kalitesinde önemli bir miktarda azalma olmaktadır (Chan ve ark., 2005; Morillas ve ark., 2008; Goossens ve ark., 2009; Lin ve ark., 2010; Zhang ve Li, 2014; Yuan ve Li, 2015; Ananthi ve Balasubramaniam, 2016).

Görüntüye gürültü eklenmesinin diğer sebepleri şu şekilde sıralanabilir; kamera sensörlerindeki düzensizlik ve hatalar, donanımsal hafıza hataları ve olağan dışı iletim hataları kaynaklı sorunlar (Jin ve ark., 2016). Örneğin televizyon görüntüleri, atmosfer parazitleri ve görüntü almadaki eksikliklerden dolayı bozulmaktadır. Diğer bir sebep ise, sanat eserlerini tarama yapıp dijital ortama aktarırken, orijinal yüzeyleri zarar görmesin diye yapılan işlemlerden dolayı, görüntülere gürültü eklenmektedir. DNA mikroçip görüntülerinde, mikroçip teknolojisindeki kaynak ve detektör eksikliklerinden dolayı görüntülere gürültü eklenmektedir (Morillas ve ark., 2009). Bunlar gibi sebeplerden dolayı, görüntülere istenmeyen veya gerçekte olmayan bilgiler de eklenmektedir. Bu istenmeden eklenen bilgi, görüntülerde gürültü olarak isimlendirilmektedir. Günümüzdeki kameralarla gürültüsüz görüntü elde etmek imkansızdır ve kameralar belli bir miktar gürültüyü görüntülere eklemektedirler (Cho ve ark., 2012).

Görüntülerden gürültüyü azaltma veya kaldırma, görüntü işlemede en temel problemlerden birisidir (Jiang ve ark., 2014; Azimirad ve Haddadnia, 2015). Gürültüyü kaldırırken en önemli unsur, görüntüye ait kenarlar, dokular gibi orijinal görüntüdeki bilgilerini korumaktır (Nguyen ve Chun, 2017).

Tuz-biber gürültüsü görüntülerde, görüntü elde etme aşamasındaki iletim ve hafıza hataları yüzünden bulunmaktadır (Gonzalez ve Woods, 2008). Tuz-biber gürültüsü eklenen görüntülerde gürültü yoğunluğu düşük olsa da görüntü kalitesinde ciddi oranda azalma ve değişiklikler olmaktadır (Sulaiman ve ark., 2015). Tuz-biber gürültüsü, gri ölçekli görüntülerde piksel değerini, negatif veya pozitif minimum ya da maksimum yapmaktadır. Eğer gri ölçekli bir görüntü tuz-biber görüntüsüyle kirlenirse, bir kısım piksel değerleri 0 veya 255 değerini almaktadır (Erkan ve Kilicman, 2016).

Tuz-biber gürültüsünü kaldırmak için birçok yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemlerin birçoğu sadece gürültülü pikseller üzerinde işlem yapmayı benimsemiştir. Tuz-biber gürültüsünü kaldırma en bilinen yöntem Median Filter(MF)'dir. MF verilen parametre boyutunda pencereleme yapmaktadır. Daha sonra, pencere içerisindeki pikseller küçükten büyüğe sıralamakta ve tüm piksellerin ortasındaki piksel değeri yeni piksel değeri olmaktadır. MF düşük gürültü yoğunluğu olduğunda gayet başarılı sonuçlar üretmektedir. Fakat gürültü yoğunluğu arttığında pencere içerisinde gürültüsüz piksel kalmayacağı için gürültüyü kaldırmakta oldukça yetersiz kalmaktadır. Pencere boyutu büyük seçilirse, bu seferde görüntüdeki kenarları ve diğer detayları ortadan kaldırmaktadır. Bu da görüntüde bulanıklık etkisi oluşturmaktadır.

Görüntü işleme uygulamalarında sabit pencere dezavantajını ortadan kaldırmak için ayarlanabilir pencere boyutlu uygulamalar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda pencere boyutu baştan sabit alınmamaktadır. MF'deki pencere boyutu büyüdükçe ortaya çıkan bulanıklık etkisi ve yetersiz gürültü eliminasyonunu ortadan kaldırmak için Adaptive Median Filtering(AMF) tasarlanmıştır. Bu filtrenin MF'den farkı, pencere boyutunun sabit değil ayarlanabilir olmamasıdır. Bu yöntem 2 aşamalı bir yöntemdir; ilk aşamada gürültülü pikseller tespit edilmekte, ikinci aşamada ise kenarları koruyarak gürültüyü kaldıran bir metot sunmaktadır. Bu yöntemin dezavantajı, pencere boyutu çok büyüdüğünde işlem zamanı çok yüksek olmaktadır (Srinivasan ve Ebenezer, 2007). Pencere boyutu gürültünün yoğunluğuna göre değişmekte ve yeniden hesaplanmaktadır. Pencere boyutuna karar verildikten sonra MF'deki işlem uygulanmaktadır (Shrestha, 2014).

Yapılan bu çalışmada MF ve AMF'nin dezavantajlarını ortadan kaldıracak bir yöntem geliştirilmiştir. Yeni geliştirdiğimiz yöntem gürültü yoğunluğu yüksek olsa bile, yeni piksel değerini gürültülü olmayan piksellerden elde etmeyi amaçlamaktadır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Gerçekleştirilen çalışmada tuz-biber gürültüsünü kaldırmak için lineer olmayan alçak geçiren yeni bir filtre geliştirilmiştir. Yeni yöntem sadece gürültülü pikseller üzerinde değil, tüm pikseller üzerinde işlem yapmaktadır. MF'nin gürültü yoğunluğu arttığındaki dezavantajını ve AMF'nin pencere boyutu arttığında orijinal olmayan piksel bilgisinden uzaklaşması ortadan kaldırılmıştır. Yeni geliştirilen yöntemin algoritması ilerdeki algoritma adımlarında tanımlanmıştır.

### Algoritma

*Adım 1.*  $X$  bir görüntüdür.  $(i, j)$  ise,  $X$  görüntüsünde işleme giren pikselin yerel yerleşim bilgisidir.

*Adım 2.* Tüm  $(i, j)$ 'ler için işlemi yap.

*Adım 3.* Her bir  $(i, j)$  için, pencereleme işlemi yap. Pencere boyutu  $3 \times 3$  olarak belirlenmiştir. Pencereleme işlemi;

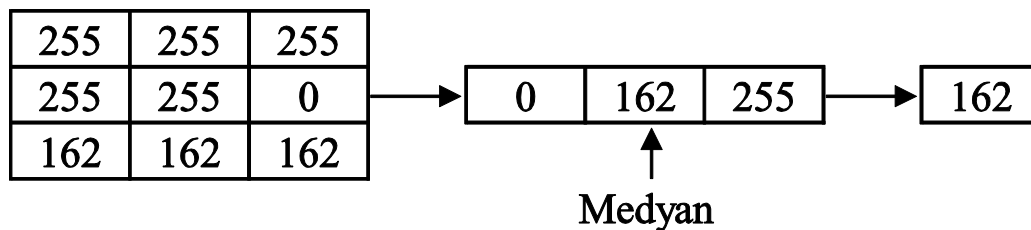
$A_{2s+1}(i, j) = \{X(i+m, j+n)\}$  şeklinde tanımlanmaktadır. Penceredeki tüm pikseller  $A$  ile ifade edilmektedir. Burada  $m, n \in (-s, \dots, 0, \dots, s)$  pencere boyutunu,  $X_{ij}$ , ise  $(i, j)$  lokasyonunda üzerinde işlem yapılan merkez pikselidir.

*Adım 4.*  $A$  penceresi içerisindeki piksel değerleri küme olarak yazılır. Yani her eleman 1 kez yazılır.  $B = \{A\}$  olarak ifade edilir.

*Adım 5.*  $B$  kümesinin medyanı alınır. Yeni piksel değeri  $B$  kümesinin medyanı olmaktadır. Yani;

$(i, j) = \text{median}(B)$ ,  $(i, j)$  yerleşimindeki yeni piksel değeri bulunmaktadır.

Algoritma adımlarından *Adım 4*'de görüleceği üzere, yeni piksel değerini bulurken yöntem yeni bir yaklaşım sergilemiş ve pencere içerisindeki tekrar eden pikselleri bir kez yazarak yeni piksel değerini bulmuştur. Bu yaklaşım, gürültü yoğunluğu yüksek olduğunda, MF ve AMF'ye göre yeni piksel değerini bulmakta çok daha fazla avantaj sağlamaktadır. MF ve AMF'de gürültü yoğunluğu yüksek olduğunda, pencere içerisinde gürültüsüz piksel sayısı az olduğunda yeni piksel değeri de gürültülü olarak bulunmaktadır. Şekil 1'de pencereleme ve yeni piksel değerinin bulunması gösterilmiştir.



Şekil 1. Algoritma çalışma prensibi  
Figure 1. Algoritm working principle

Şekil1 incelendiğinde, ilk başta pencerenin merkezindeki piksel değeri 255’dir ve gürültülü olabilecek bir değerdir. Daha sonra, pencere içerisindeki pikseller küme olarak yazılmış ve 0-162-255 değerleri kalmıştır. Yani her eleman bir defa yazılmıştır. Bu kalan değerlerin medyanı ise 162’dir ve yeni piksel değeri bulunmuştur. Hem gürültü temizlenmiş hem de orijinal piksel değerinin aynısı elde edilmiştir. Eğer MF ve AMF’de aynı pencereye işlem uygulansaydı piksel değeri gürültülü olarak kalacaktı.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Değerlendirme kriter ve materyalleri

Yeni yöntemin sonuçlarını test etmek için, görüntü işleme uygulamalarında en çok kullanılan, 512x512 boyutunda 18 adet test görüntüsü kullanılmıştır. Kullanılan görüntüler Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Test görüntüleri

Figure 2. Test images

Şekil 2’deki görüntüler sırasıyla Lena, Cameraman, Barbara, Baboon, Peppers, Bridge, Pirate, Elaine, Livingroom, Plane, House, Lake, Boat, Flinstones, Fingerprint, Flower, Woman Blonde ve Woman Darkhair görüntüleridir.

Yeni yöntemin sonuçlarını test etmek için 2 adet değerlendirme ölçütü kullanılmıştır. Bu ölçütlerden birincisi Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)’dir ve şu şekilde tanımlanmaktadır;

$$PSNR := 10 \log \left( \frac{255^2}{MSE} \right)$$

burada MSE, ortalama kare hatayı ifade etmektedir ve şu şekilde tanımlanır;

$$MSE := \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (e_{ij} - f_{ij})^2$$

burada  $E := [e_{ij}]$  orijinal görüntü ve  $F := [f_{ij}]$  düzeltilmiş görüntüdür. İkinci ölçüt Structural Similarity (SSIM)'dir ve şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$SSIM := \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1) + (2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1) + (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}$$

burada  $\mu_x, \mu_y, \sigma_x, \sigma_y$  ve  $\sigma_{xy}$  sıra ile ortalama değerler, standart sapmalar ve çapraz kovaryans değerleridir. Ek olarak  $C_1 := (K_1L)^2$  ve  $C_2 := (K_2L)^2$  iki sabit ve  $K_1, K_2 \ll 1$  iki küçük sabit ve 8 bit gri ölçekli görüntüler için  $L = 255$ 'dir (Zhou ve ark., 2004).

### 3.2. Yöntem sonuçları

Çizelge 1'de 18 test görüntüsünün PSNR ve SSIM ortalamalarına ait sonuçlar gösterilmiştir. Sonuçlar yeni yöntemle karşılaştırılmıştır. %10 gürültü yoğunluğunun dışındaki tüm sonuçlarda yeni yöntem daha başarılı olmuştur. SSIM sonuçlarında ise, %80 ve %90 gürültü yoğunluğunda en başarılı yöntem olmuştur.

**Çizelge 1.** 18 Test görüntüsü için PSNR ve SSIM ortalamaları

**Table 1.** PSNR and SSIM averages for the 18 test images

Gürültü Yoğunluğu	Ölçüt	AMF	MF	Yeni
10%	PSNR	29,03	<b>30,59</b>	29,63
	SSIM	<b>0,9463</b>	0,8826	0,8568
20%	PSNR	26,31	27,12	<b>28,84</b>
	SSIM	<b>0,9329</b>	0,8376	0,8417
30%	PSNR	24,51	22,63	<b>28,08</b>
	SSIM	<b>0,9119</b>	0,7041	0,8250
40%	PSNR	23,13	18,46	<b>27,20</b>
	SSIM	<b>0,8839</b>	0,4853	0,8027
50%	PSNR	22,01	14,97	<b>26,07</b>
	SSIM	<b>0,8490</b>	0,2759	0,7717
60%	PSNR	21,00	12,14	<b>24,70</b>
	SSIM	<b>0,8033</b>	0,1422	0,7265
70%	PSNR	19,86	9,84	<b>22,91</b>
	SSIM	<b>0,7340</b>	0,0736	0,6615
80%	PSNR	17,19	7,98	<b>20,64</b>
	SSIM	0,5563	0,0371	<b>0,5709</b>
90%	PSNR	11,89	6,49	<b>17,59</b>
	SSIM	0,1823	0,0163	<b>0,4555</b>

Çizelge 2’de ise, 5 adet test görüntüsüne ait %10-%90 arası tuz-biber gürültüsü yoğunluğuna ait sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar yeni yöntemle karşılaştırılmıştır. Üç sonuç hariç diğerlerinin hepsinde yeni geliştirilen yöntem daha başarılı olmuştur. Başarısız olunan üç sonuç ise, sadece %10 gürültü yoğunluğunda olmuştur. Hatta gürültü yoğunluğu yükseldikçe yeni yöntemin başarı oranı daha da artmaktadır.

**Çizelge 2.** Farklı gürültü seviyeleri ile uğraşan farklı filtreler için PSNR (Db) sonuçları  
*Table 2. PSNR (Db) results for different filters dealing with different noise levels*

Görüntü	Filtre	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Lena	AMF	30,10	26,94	25,22	23,89	22,87	21,91	20,71	17,91	12,17
	MF	32,82	28,75	23,32	19,03	15,37	12,39	10,05	8,19	6,65
	YENİ	<b>32,96</b>	<b>32,19</b>	<b>31,29</b>	<b>30,36</b>	<b>28,83</b>	<b>27,51</b>	<b>25,34</b>	<b>22,56</b>	<b>18,91</b>
Cameraman	AMF	30,41	27,17	25,43	23,95	22,79	21,73	20,66	17,64	11,84
	MF	<b>33,29</b>	28,61	23,13	18,54	14,94	11,93	9,68	7,80	6,32
	YENİ	32,24	<b>30,98</b>	<b>29,97</b>	<b>28,80</b>	<b>27,58</b>	<b>25,75</b>	<b>23,61</b>	<b>21,18</b>	<b>17,78</b>
Barbara	AMF	26,54	24,55	22,98	21,89	20,77	19,89	18,91	16,62	11,81
	MF	24,76	23,42	20,80	17,81	14,62	11,95	9,76	7,94	6,45
	YENİ	<b>24,86</b>	<b>24,61</b>	<b>24,27</b>	<b>23,91</b>	<b>23,43</b>	<b>22,73</b>	<b>21,64</b>	<b>19,72</b>	<b>16,56</b>
Baboon	AMF	<b>28,94</b>	26,29	24,38	22,98	21,84	20,70	19,61	17,13	12,02
	MF	28,57	26,31	22,48	18,60	15,16	12,37	10,16	8,32	6,82
	YENİ	27,76	<b>27,08</b>	<b>26,32</b>	<b>25,50</b>	<b>24,54</b>	<b>23,48</b>	<b>22,36</b>	<b>21,04</b>	<b>19,07</b>
Peppers	AMF	29,19	26,82	25,09	23,68	22,65	21,63	20,63	17,89	12,01
	MF	<b>31,41</b>	27,80	23,23	18,68	15,10	12,24	9,93	8,02	6,47
	YENİ	30,67	<b>29,90</b>	<b>29,23</b>	<b>28,58</b>	<b>27,08</b>	<b>25,65</b>	<b>23,52</b>	<b>20,79</b>	<b>17,18</b>

Şekil 3’de Lena görüntüsünün %30, %60 ve %80 tuz-biber gürültüsünde AMF ve MF ile karşılaştırmalı görsel sonuçları görülmektedir. Şekil 3’e göre yeni geliştirilen yöntem, PSNR sonuçlarına göre en başarılı yöntemdir. Ama görsel olarak %80 gürültü yoğunluğunda üretilen sonuç iyi değildir.



**Şekil 3.** Lena görüntüsünün farklı gürültü yoğunluklarında tuz-biber gürültüsü sonuçları  
**Figure 3.** Salt and pepper noise results of the Lena image in different noise density



#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, medyan filtre uygulamalarına bir alternatif geliştirilmiştir. Pencere içerisindeki pikseller küme olarak düşünülmüş ve gürültü kaldırmak için yeni bir yol gösterilmiştir. Yeni geliştirilen yöntemin sonuçları tuz-biber gürültüsünde denenmiş ve diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında çok daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Şimdi artık sorabiliriz; Eğer bu yeni geliştirilen yöntemi sabit pencere boyutunda değil de, ayarlanabilir pencere boyutunda uygulasak acaba çok daha başarılı sonuçlar elde edebilir miyiz?

#### Kaynaklar

- Ananthi, V.P. ve Balasubramaniam, P., 2016. A new image denoising method using interval-valued intuitionistic fuzzy sets for the removal of impulse noise, *Signal Processing* 121 (2016) 81–93.
- Azimirad, E. ve Haddadnia J., 2015. Design of a new filtering for the noise removing in images by fuzzy logic, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 28, 1869–1876.
- Chan, R. H., Ho, C. W. ve Nikolova, M., 2005. Salt-and-Pepper Noise Removal by Median-Type Noise Detectors and Detail-Preserving Regularization, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 14, No. 10, October.
- Cho, T. S., Zitnick, C. L., Joshi, N., Kang, S. B., Szeliski, R. ve Freeman W. T., 2012. Image Restoration by Matching Gradient Distributions, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 34, No. 4, April.
- Erkan, U. ve Kiliçman, A., 2016. Two new methods for removing salt-and-pepper noise from digital images, *ScienceAsia* 42 : 28–32.
- Goossens, B., Pizurica, A. ve Philips, W., 2009. Removal of Correlated Noise by Modeling the Signal of Interest in the Wavelet Domain, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 18, No. 6, June.
- Gonzalez, R. C. ve Woods, R. E., 2008. *Digital Image Processing (3rd Edition)*.
- Jiang J., Zhang L. ve Yang J., 2014. Mixed Noise Removal by Weighted Encoding With Sparse Nonlocal Regularization, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 23, No. 6, June.
- Jin, L., Zhu, Z., Xu, X. ve Li, X., 2016. Two-stage quaternion switching vector filter for color impulse noise removal, *Signal Processing* 128, 171–185.
- Lin C. H., Tsai, J.-S. ve Chiu, C. T., 2010. Switching Bilateral Filter with a Texture/Noise Detector for Universal Noise Removal, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 19, No. 9, September.
- Mäkitalo, M. ve Foi, A., 2013. Optimal Inversion of the Generalized Anscombe Transformation for Poisson-Gaussian Noise, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 22, No. 1, January 2013.
- Morillas, S., Gregori, V., Peris-Fajarne's, G., Sapeña, A., 2008. Local self-adaptive fuzzy filter for impulsive noise removal in color images, *Signal Processing* 88, 390–398.
- Morillas, S., Gregori, S. V. ve Hervás, A., 2009. Fuzzy Peer Groups for Reducing Mixed Gaussian-Impulse Noise from Color Images, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 18, No. 7, July.
- Nguyen, M.P. ve Chun, S.Y., 2017. Bounded Self-Weights Estimation Method for Non-Local Means Image Denoising Using Minimax Estimators, *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 26, No. 4, Apr.
- Shrestha, S. (2014). Image Denoising Using New Adaptive Based Median Filter, *Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ)* Vol.5, No.4, August.



- Srinivasan, K. S. ve Ebenezer, D., 2007. A New Fast and Efficient Decision-Based Algorithm for Removal of High-Density Impulse Noises, *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 14, No. 3, March.
- Sulaiman, S. N., Isa, N. A. M, Yusoff, I. A. ve Ahmad F., 2015. Switching-based clustering algorithms for segmentation of low-level salt-and-pepper noise-corrupted images, *SIViP* 9:387–398.
- Thanh, D.N.H., Dvoenko, S.D., 2016. A Method of Total Variation to Remove the Mixed Poisson-Gaussian Noise, *Pattern Recognition and Image Analysis*, vol. 26, no. 2, pp. 285–293.
- Yuan, C. ve Li Y., 2015. Switching median and morphological filter for impulse noise removal from digital images, *Optik* 126, 1598–1601.
- Zhang, P. ve Li, F., 2014. A New Adaptive Weighted Mean Filter for Removing Salt-and-Pepper Noise, *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 21, No. 10, October 2014.
- Zhou, W., Bovik, A.C., Sheikh, H.R. ve E. P., 2004. Simoncelli, “Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity,” *IEEE Trans. Image Process.*, Vol. 13, No. 4, April.