

Tuz Biber Gürültülerinin Giderilmesi için k-Ortalama Algoritması Tabanlı Filtre Tasarımı

Gür Emre GÜRAKSIN*¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar

(Alınış / Received: 16.08.2017, Kabul / Accepted: 02.01.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 27.03.2018)

Anahtar Kelimeler

Tuz biber gürültüleri,
Görüntü işleme,
Gürültü giderme,
k-ortalama algoritması

Özet: Görüntü işlemede gürültü giderme önemli konulardan birisidir. Bir görüntünün gürültüden etkilenmesi, görüntü içerisinde saklı olan bilgilerin bozulması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla bu tür gürültülerin özellikle ileriki görüntü işleme safhalarından önce temizlenmesine ihtiyaç vardır. Bu gürültülerden birisi olan tuz ve biber gürültüleri çoğunlukla görüntünün yakalanması veya kayıt hatalarından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada kümeleme algoritmalarından birisi olan k ortalama algoritması kullanarak resim üzerindeki tuz ve biber gürültüsü içerebilecek pikseller tespit edilerek resim üzerindeki gürültülerin giderilmesi için yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem ile geleneksel filtrelerden olan ortanca ve ortalama filtreleri farklı gürültü oranlarında performans karşılaştırmaları yapılmış ve elde edilen sonuçlara göre önerilen yöntemin özellikle gürültü seviyesi arttıkça başarısının da arttığı gözlemlenmiştir.

k-Means Algorithm Based Filter Design for Removing Salt and Pepper Noises

Keywords

Salt and pepper noise,
Image processing,
Noise reduction,
k-means algorithm

Abstract: Noise reduction is one of the important issues in image processing. An image affected by noise means that information stored in the image is distorted. Therefore, it is necessary to remove such noises especially before the later stages of image processing. Salt and pepper noise which is one of these noises, is mostly caused by error in image acquisition or by the recording errors. In this study, a new method is proposed to eliminate the noises on the picture by detecting the pixels that may contain salt and pepper noise by using k-means algorithm which is one of the clustering algorithm. Performance of the of the proposed method with the conventional methods which are median filter and mean filter are compared at different noise ratios and it is observed that the proposed method increases the performance rate especially as the noise level increases.

1. Giriş

Görüntüler üzerindeki dürtü gürültüleri iletim esnasındaki bit hataları veya sinyalin toplanması aşamasında oluşmaktadır. Genel olarak tuz ve biber gürültüleri ve rasgele değerli gürültü olmak üzere iki ayrı türü bulunmaktadır [1]. Tuz ve biber gürültüleri sayısal görüntüdeki piksellerin belirli bir oranının rastgele olarak iki aşırı yoğunluk değerinden birisini aldığı, dürtü gürültülerinin özel bir türüdür. Gri seviye görüntülerde genellikle bu bazı piksel değerlerinin maksimum veya minimum gri seviye değerlerini almasıyla oluşur. Çoğunlukla bu tür gürültüler görüntünün yakalanması veya kayıt hatalarından kaynaklanmaktadır. Hatalı bellek alanları veya bozulmuş sensörler sayısal görüntünün tuz ve biber gürültüsü ile bozulmasına sebep

olabilmektedir. Tuz ve biber gürültüsü gibi gürültüler özellikle görüntü içerisinde saklı olan bilgi ve verilerin bozulmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla bu tür gürültülerin özellikle kenar belirleme ve bölütleme gibi ileriki görüntü işleme safhalarından önce temizlenmesine ihtiyaç vardır [2].

Tuz ve biber gürültülerinin temizlenerek görüntünün iyileştirilmesi için birçok lineer olmayan filtre geliştirilmiştir. Bunlar arasında özellikle standart ortanca (medyan) filtre özellikle görüntü üzerindeki kenar özelliklerini kaybettirmeden tuz ve biber gürültülerinin temizlenmesi için kullanılan en önemli yöntemlerden birisidir. Ancak ortanca filtre ilgili pikselin gürültü içerip içermediğine bakmadan filtre içerisindeki ortanca değer ile değiştirerek işlem yapmaktadır. Buda özellikle filtrelenmiş görüntülerin

bulanıklaşmasına neden olmaktadır [2]. Ayrıca ortanca filtre özellikle gürültü seviyesi düşük olan görüntülerde daha iyi sonuç vermektedir. Gürültü seviyesi %50'nin üzerinde olan görüntülerde orijinal görüntüdeki kenar detayları korunamamaktadır [1,3].

Literatürde tuz ve biber gürültülerinin giderilmesi için yapılan çalışmalara bakıldığında bu çalışmalardan birisinde Lien ve arkadaşları [11] dürtü gürültülerini gidermek için uyarlamalı bir karar ağacı tabanlı gürültü giderme yöntemi önermişlerdir. Bu çalışmada yazarlar dürtü gürültünün etkilerini arttırmak için yeniden yapılandırılmış piksellerin sonuçlarını girdi verisinin bir parçası olarak uyarlanır şekilde geri yazdırmışlardır. Önerdikleri yöntem ile daha önce herhangi bir eğitim gerektirmeden gürültülü görüntülerin etkin bir şekilde temizlenebileceğini göstermişlerdir. Bir diğer çalışmada ise Gupta [7] son derece bozuk görüntülerin geliştirilmesi ve gürültülerin giderilmesi için sıra istatistiği filtrelemesine dayalı geliştirilmiş bir ortanca filtre algoritması önermiştir. Önerilen yöntemin farklı görüntü türlerine uyarlanabileceği ve mevcut yöntemlere nazaran daha iyi sonuçlar verdiği vurgulanmıştır. Bir diğer çalışmada Esakkirajan ve arkadaşları [1] tuz ve biber gürültülerinin giderilmesi için karar tabanlı asimetrik kırılmış ortanca filtre algoritması önermişlerdir. Önerilen yöntem birçok farklı görüntü üzerinde denemiş ve farklı filtreleme algoritmalarına göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Görüntü üzerinde gürültülerin filtre kullanılarak temizlenmesi işlemi ile gürültülerin yok edilmesini amaçlarken resimdeki kenar ve detay bilgilerinin de korunması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada kümeleme algoritmalarından birisi olan k ortalamalar algoritması kullanarak resim üzerindeki tuz ve biber gürültüsü içerebilecek pikseller tespit edilerek resim üzerindeki gürültülerin giderilmesi için yeni bir yöntem önerilmiştir. Ayrıca önerilen yeni yöntem ile gürültü giderme işlemi için kullanılan ortanca ve ortalama algoritmaları farklı gürültü seviyelerinde karşılaştırılmıştır. Makalenin ilerleyen bölümlerinden birisi olan bölüm 2'de dürtü gürültülerinden birisi olan tuz ve biber gürültüsü ile geleneksel filtrelerden olan ortanca ve ortalama filtreleri anlatılmıştır. Ayrıca çalışmamızda kullanılan k ortalama algoritmasına da bu bölümde yer verilmiştir. Bölüm 3'de önerilen yöntem açıklanmış ve bölüm 4'de elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Son olarak bölüm 5'de de tartışma ve sonuçlar ele alınmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Tuz ve biber gürültüleri

Dijital görüntülerde dürtü gürültüleri ile bozulma sıklıkla karşılaşılan bir olaydır. Dürtü gürültüleri bağımsız ve görüntü piksellerinden bağımsız bir

şekilde rastgele dağılmış olan gürültülerdir. Dürtü gürültüsü içeren görüntülerde her piksel gürültü içermemektedir. Piksellerin sadece belirli bir oranı gürültüden etkilenir. Geriye kalan pikseller bu gürültüden etkilenmemiş orijinal piksel değerleridir [4].

Dürtü gürültülerinden birisi olan tuz ve biber gürültüleri, sayısal görüntüdeki piksellerin belirli bir yüzdesinin rastgele olarak iki aşırı yoğunluk değeri aldığı özel bir durumdur. Normalde bu yoğunluk değerleri maksimum ve minimum yoğunluk değerleridir. Tuz ve biber gürültüsü, genellikle kayıt hatası veya görüntünün elde edilmesi aşamasında meydana gelmektedir. Hatalı bellek alanları veya bozuk sensörler bir görüntünün tuz ve biber gürültüsünden etkilenmesine sebep olabilmektedir [2]. Bir görüntünün gürültüden etkilenmesi, o görüntünün orijinal halindeki bilgilerin veya verilerinde bozulması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla bu gürültülerin yok edilmesi özellikle görüntü işleme aşamasının ileri safhaları için önem arz etmektedir.

2.2. Ortanca ve ortalama filtreleri

Tuz ve biber gürültülerinin giderilmesi için kullanılan en popüler yöntemlerden birisi ortanca filtreleridir [1-3]. Ortanca filtrede öncelikle filtre boyutu değişken olmak kaydıyla kare bir filtre oluşturulur. Burada amaç filtrenin ortasındaki piksel değerini gürültüden arındırmaktır. Bunun için öncelikle görüntü üzerinde gezdirilen filtre içerisindeki tüm piksel değerleri büyüklüklerine göre sıralanır. Daha sonra sıralanan bu piksel değerlerinin ortanca değeri alınarak filtrenin ortasında bulunan piksel değeri yerine kullanılır. Ortanca filtreleri özellikle dürtü gürültülerini gidermek için kullanılan basit ve etkili bir yöntemdir [5]. Ancak ortanca filtre, işlem yaptığı pikselin gürültü içerip içermediğini dikkate almamaktadır ve gürültü seviyesinin %50'nin üzerinde olduğu görüntülerde de kenar detaylarını koruyamadığı görülmektedir [1-3]. Ortanca filtrenin bir diğer örneği de uyarlamalı ortanca filtredir. Bu filtrede de her bir piksele uygulanan ortanca filtrenin boyutu yerel gürültü oranının kestirimine dayanarak belirlenmektedir. Yüksek gürültü oranına sahip alanlara daha büyük filtreler uygulanırken düşük gürültü oranına sahip alanlara daha küçük filtreler uygulanır [6].

Bir diğer gürültü giderme için kullanılan filtrede ortalama filtresidir. Lineer bir filtre olan ortalama filtresi görüntü üzerinde her bir piksel için bir maske kullanmaktadır. Bu maske içerisine düşen piksel değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak tek bir piksel değerine dönüştürülür. Daha sonra elde edilen bu yeni piksel değeri oluşturulan maskenin merkez piksel değeri ile yer değiştirilerek yeni piksel değeri elde edilmiş olunur. Ortalama filtresi özellikle kenar bilgilerinin korunmasında zayıf kalmaktadır [7].

2.3. k-ortalamlar algoritması

n noktadan oluşan d boyutlu bir veri setimiz olduğunu ve bu veri setini K kümeye ayırmak istediğimizi farz edelim. K-ortalamlar algoritması, bir kümenin deneysel ortalaması ile kümedeki noktalar arasındaki karesel hatanın en aza indirileceği bir bölüm bulmayı amaçlar. μ_k , c_k kümesinin ortası olsun. μ_k ve c_k kümesi içerisindeki noktalar arasındaki karesel hata aşağıdaki gibi tanımlanır [8]:

$$J(c_k) = \sum_{x_i \in c_k} \|x_i - \mu_k\|^2 \quad (1)$$

Burada k-ortalamlar algoritmasının amacı tüm K kümeleri için ortalama karesel hatanın minimize edilmesidir [8]:

$$J(C) = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in c_k} \|x_i - \mu_k\|^2 \quad (2)$$

K-ortalamlar algoritması, genel olarak K kümeden oluşan bir başlangıç bölütü ile başlar ve karesel hatayı indirmek için örnekleri kümelere atar [7]. K-ortalamlar algoritmasının küme merkezlerini belirleme adımları aşağıdaki gibidir [9]:

1. Rastgele örnekleme kullanarak c_k 'daki merkezleri başlangıç durumuna getir.
2. Küme merkezine olan minimum mesafe kriterine göre örneklerin K kümeleri arasından birisine olan üyeliğine karar verme.
3. S_k , k . küme içerisindeki veri ögesi sayısı olmak üzere yeni c_k merkezlerinin aşağıdaki denkleme göre belirlenmesi:

$$c_k = \frac{\sum_{x_i \in S_k} x_i}{|S_k|} \quad (3)$$

4. Küme merkezlerinde değişim olmayana kadar 2. ve 3. adımların tekrar edilmesi.

3. Bulgular

Gürültü giderme için kullanılan geleneksel filtrelerin işlem yaptığı pikselin gürültü içerip içermediğini dikkate almadan işlem yaptığından daha önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Bu çalışmada tuz ve biber gürültüsü içerebilecek görüntülerin iyileştirilmesi için öncelikle işlem yapılan pikselin gürültü içerip içermediğine karar verecek ve eğer gürültü içeriyorsa bu gürültünün giderilmesini sağlayacak yeni bir algoritma önerilmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen algoritmanın akış şeması şekil 1'de verilmiştir.

Önerilen algoritmanın ilk aşamasında görüntü verisi k-ortalamlar algoritması kullanılarak iki kümeye ayrılmıştır. K-ortalamlar algoritması kullanılırken

uzaklık ölçütü olarak Öklid uzaklık ölçütü kullanılarak bu işlem gerçekleştirilmiştir. Veri iki kümeye ayrıldıktan sonra, iki küme içinde küme merkezleri (c_1 ve c_2 olmak üzere) hesaplanmıştır. Elde edilen bu küme merkezleri şekil 2'de de görüldüğü gibi daha sonra uygulanacak gürültülü verilerin tespiti için bir kriter oluşturmaktadır.

Kümeleme işleminin ardından 3×3 'lük bir filtre tasarlanarak bu filtre tüm görüntü pikselleri üzerinde dolaştırılmaktadır. Filtre içerisinde bulunan piksel değerleri M_{piksel} olmak üzere bu işlem ile işlem yapılacak her bir piksel için 4. denkleme verilmiş olan iki durum söz konusudur.

$$f(n) = \begin{cases} \text{Eğer } x_i > c_1 \text{ ve } x_i < c_2, & x_i = x_i \\ \text{Eğer } x_i < c_1 \text{ veya } x_i > c_2, & x_i = P \end{cases} \quad (4)$$

$$P = \text{median}(\text{unique}(M_{piksel})) \quad (5)$$

İlk durum, filtre merkezinde bulunan piksel değerinin daha önce eşitlik 3 ile hesaplanan iki küme merkez değeri (c_1 ve c_2) arasında olması durumudur. Bu durumda şekil 2'de de görülebileceği gibi ilgili piksel değerinin gürültü içermediği ve güvenli bölgede olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla yeni piksel değeri orijinal piksel değeri olarak kalacak ve bu piksel değeri üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmayacaktır.

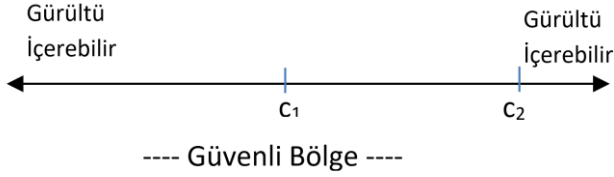
$$x_i^{yeni} = x_i \quad (6)$$



Şekil 1. Önerilen Algoritmanın Akış Şeması

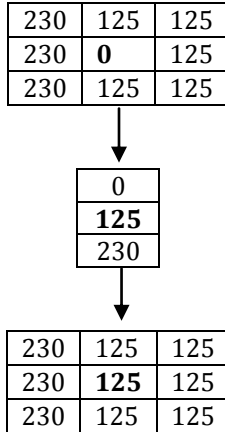
İkinci durum ise ilgili piksel değerinin güvenli bölge dışında olduğu, yani birinci küme merkezinden küçük veya ikinci küme merkezinden yüksek bir değere sahip olduğu durumdur. Bu durumda ilgili piksel değerinin gürültü içerebileceği anlaşılmaktadır. Bu gürültülü verinin giderilmesi için eşitlik 5 'de de görüldüğü gibi öncelikle filtre içerisindeki tüm verilerin özgün değerleri küçükten büyüğe sıralanmış ve sıralanan bu özgün değerlerin ortanca değeri belirlenerek ilgili piksel değeri yani filtrenin ortasındaki piksel değeri ile değiştirilmiştir. Bu

işleme bir örnek şekil 3'de verilmiştir. Eğer filtre içerisindeki piksel değerleri tek bir sayısal değere sahip ise bu piksel değeri üzerinde herhangi bir işlem yapılmamaktadır.



Şekil 2. Gürültülü Piksellerin Tespiti

Önerilen yöntem ile kullanılan filtre, öncelikle işlem yapılacak piksel değerlerinin gürültü içerip içermediğine bakmakta ve sadece gürültü içerebilecek piksel değerlerini düzeltmeye çalışmaktadır. Ortanca ve ortalama filtreleri gibi geleneksel yöntemlerde ise ilgili pikselin gürültülü olup olmadığına bakılmaksızın piksel değeri değiştirilmektedir. Önerilen algoritma Matlab ortamında geliştirilmiş ve farklı görüntüler üzerinde denenmiştir. Bu görüntüler üzerine farklı oranlarda tuz ve biber gürültüsü eklenerek önerilen yöntem ve geleneksel filtreler olan ortanca ve ortalama filtreleri ile performansları karşılaştırılmıştır. Filtrelerin performansları karşılaştırılırken doruk sinyal gürültü oranı (PSNR) dikkate alınmıştır. PSNR yeniden yapılandırılmış veya iyileştirilmiş görüntülerde, görüntü kalitesini temsil etmek için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. PSNR kısaca, mümkün olan maksimum güç ve görüntünün sunumunu etkileyen gürültü arasındaki oran olarak bilinmektedir [10]. PSNR değerinin yüksek olması yeniden yapılandırılan resmin kalitesinin arttığı anlamına gelmektedir.

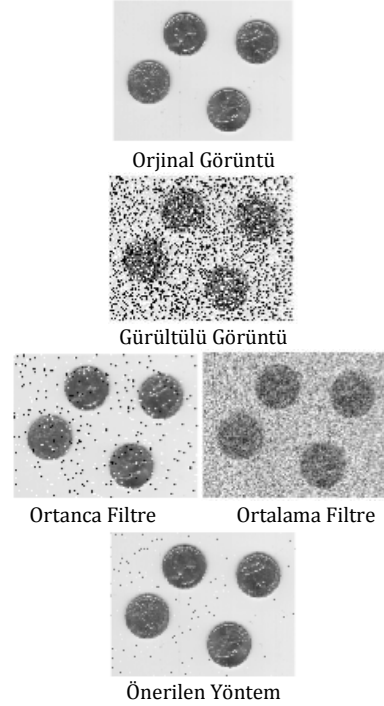


Şekil 3. Gürültülü Piksellerin Giderilmesi

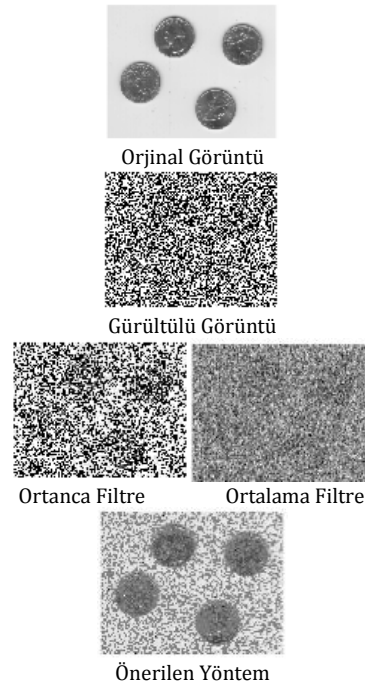
Şekil 4, şekil 5 ve şekil 6'da farklı gürültü oranlarına sahip görüntüler üzerinde önerilen yöntem ile geleneksel filtrelerin sonuçlarına birer örnek verilmiştir.

Şekil 7'de şekil 4'de verilen görüntü için farklı oranlarda tuz ve biber gürültüsü eklenmiş görüntü üzerinde önerilen yöntem ve geleneksel yöntemler olan ortanca, uyarlamalı ortanca ve ortalama filtrelerine ait performans sonuçları grafiksel olarak verilmiştir. Gürültülü görüntü, ortanca filtre

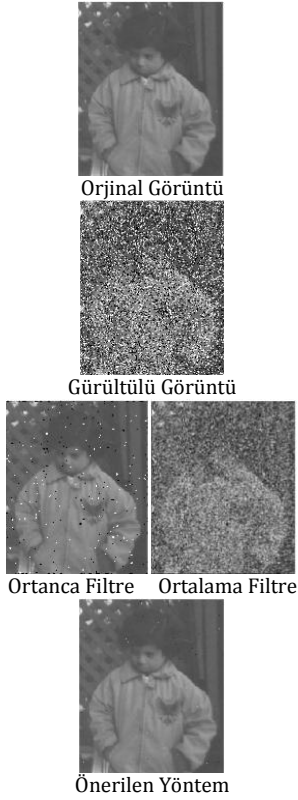
uygulanmış görüntü, uyarlamalı ortanca filtre uygulanmış görüntü, ortalama filtre uygulanmış görüntü ve önerilen yöntem uygulanmış görüntü için PSNR sonuçları, farklı gürültü oranlarına göre incelendiği zaman önerilen yöntemin özellikle gürültü seviyesi arttıkça başarısının da arttığı şekil 7'de görülmektedir. Sadece 0.1 gürültü oranında ortanca filtre ile uyarlamalı ortanca filtre önerilen yöntemin üzerinde bir PSNR değeri elde etmiştir. Bunun dışındaki tüm gürültü oranlarında önerilen yöntem geleneksel yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar göstermiştir.



Şekil 4. 0.4 Oranında Tuz ve Biber Gürültüsü Eklenmiş Görüntü Üzerinde Filtrelerin Etkileri



Şekil 5. 0.9 Oranında Tuz ve Biber Gürültüsü Eklenmiş Görüntü Üzerinde Filtrelerin Etkileri



Şekil 6. 0.3 Oranında Tuz ve Biber Gürültüsü Eklenmiş Görüntü Üzerinde Filtrelerin Etkileri

Daha öncede bahsettiğimiz gibi bu çalışmada gürültülü pikseller tespit edildikten sonra gürültünün giderilmesi için filtre içerisindeki tüm verilerin özgün değerleri küçükten büyüğe sıralanmış ve sıralanan bu özgün değerlerin ortanca değeri belirlenerek ilgili piksel değeri yani filtrenin ortasındaki piksel değeri ile değiştirilmiştir. Şekil 8'de önerilen bu yöntem ile özgün değerlerin ortancası yerine filtre içerisindeki piksel değerlerinin ortancası alınınca elde edilen sonuçların karşılaştırılması verilmiştir.

Şekil 8'de de görüldüğü gibi direk ortanca değerin seçilmesi yerine özgün değerler üzerinden işlem yapılmasının özellikle daha yüksek gürültü oranlarında görüntü kalitesini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

Bu çalışmada literatürde de sıkça kullanılan Lena görüntüsü için önerilen yöntem ile daha önce yapılan çalışmalarda önerilen yöntemlerin PSNR bakımından performansları tablo 1'de karşılaştırılmıştır. Performans karşılaştırmaları eşitlik 7'de görüldüğü gibi ortanca filtreye göre önerilen yöntemlerin başarıyı yüzde olarak ne kadar arttırdığına bakılarak yapılmıştır.

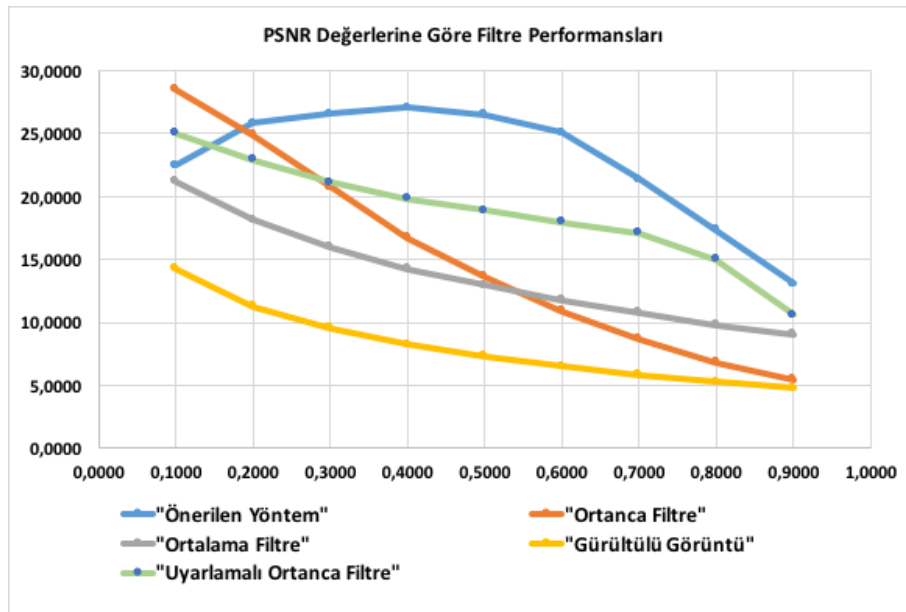
$$Performans = \frac{PSNR_{ÖY}}{PSNR_{Med}} - 1 \times (100) \quad (7)$$

Eşitlik 7'de PSNR_{ÖY} önerilen yöntemler kullanılarak elde edilen PSNR değerlerini, PSNR_{Med} ise ortanca filtre kullanılarak elde edilen PSNR değerlerini ifade etmektedir.

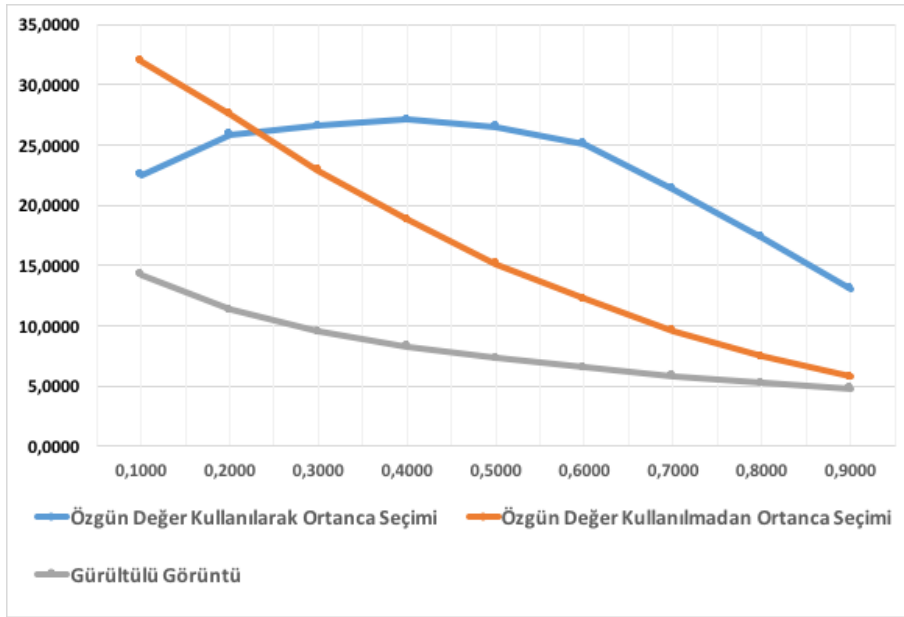
Tablo 1. Performans Karşılaştırmaları

Gürültü Oranı (%)	Gupta (%) [7]	Esakkirajan ve ark. (%) [1]	Önerilen Yöntem (%)
10	-8,46	43,93	12,43
20	-7,57	35,54	24,19
30	-2,85	47,71	42,62
40	-5,91	66,50	68,85
50	-1,29	87,37	98,42
60	5,94	138,54	123,83
70	11,15	144,71	148,12
80	22,23	150,00	163,99
90	31,74	176,69	171,22

Tablo 1 incelendiği zaman önerilen yöntemin özellikle gürültü oranı arttığı zaman (%40 ve %90 arasında) diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar verebildiği görülmektedir.



Şekil 7. Farklı Gürültü Oranlarına Göre Filtre Performansları



Şekil 8. Ortanca Değer Seçiminde Özgün Değer Kullanımının Filtre Performansına Etkisi

4. Tartışma ve Sonuç

Görüntü işlemede gürültü giderme önemli konulardan birisidir. Bu gürültülerden birisi olan tuz ve biber gürültüleri özellikle hatalı bellek alanları veya bozulmuş sensörlerden kaynaklanabilmekte ve sayısal görüntünün bozulmasına sebep olabilmektedir. Dolayısıyla buda görüntüden elde edilebilecek bilginin kaybolmasına veya bozulmasına sebep olmaktadır. Özellikle görüntü işleme aşamasının ileri safhalarına geçilmeden görüntü üzerindeki gürültülerin giderilmesi kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda gürültü giderme için en sık kullanılan yöntemler ortanca ve ortalama filtreleridir. Ancak bu filtrelerde ilgili pikselin gürültü içerip içermediğine bakmaksızın işlem yapması, gürültü seviyesinin yüksek olması durumunda başarılarının düşmesi ve kenar bilgilerinin kaybolması gibi bazı dezavantajlara sahiptir.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen dezavantajlarda dikkate alınarak sayısal görüntü üzerindeki gürültülerin giderilmesi için k-ortalama algoritması kullanılarak yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem ile geleneksel yöntemlerin performansı farklı gürültü oranları için kıyaslanarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre önerilen yöntemin özellikle gürültü seviyesi arttıkça başarısının da arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca önerilen yöntem ile işlem yapılan piksellerin gürültü içerip içermedikleri dikkate alınarak gürültü içermeyen pikseller korunmuş ve bu sayede görüntüden elde edilebilecek bilgi kaybının da önüne geçilmesi sağlanmıştır. Günümüzde görüntü işleme tekniklerinin birçok alanda kullanıldığını dikkate alacak olursak, önerilen yöntem ile iyileştirilen görüntülerin özellikle tıbbi görüntüleme ve teşhis ile robotik uygulamalar gibi birçok farklı alanda da uygulanabileceği görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca desteklenmiştir. Proje No: 17.KARİYER.39.

Kaynakça

- [1] Esakkirajan, S., Veerakumar, T., Subramanyam, A. N., PremChand, C. H. 2011. Removal of High Density Salt and Pepper Noise Through Modified Decision Based Unsymmetric Trimmed Median Filter. IEEE Signal Processing Letters, 18(5), 287-290.
- [2] Vin Toh, K. K., Isa, N. A. M. 2010. Noise Adaptive Fuzzy Switching Median Filter for Salt and Pepper Noise Reduction. IEEE Signal Processing Letters, 17(3), 281 - 284.
- [3] Chan, R. H., Ho, C. W., Nikolova, M. 2005. Salt and Pepper Noise Removal by Median Type Noise Detectors and Detail Preserving Regularization. IEEE Transactions on Image Processing, 14(10), 1479 - 1485.
- [4] Harikiran, J., Saichandana, B., Divakar, B. 2010. Impulse Noise Removal in Digital Images. International Journal of Computer Applications, 10(8), 39 - 42.
- [5] Chang, C. C., Hsiao, J. Y., Hsieh, C. P. 2008. An Adaptive Median Filter for Image Denoising. Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application, 20 - 22 Aralık, Şangay, Çin, 346 - 350.
- [6] Ibrahim, H., Kong, N. S. P., Ng, T. F. 2008. Simple Adaptive Median Filter for Removal of Impulse Noise from Highly Corrupted Images. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 54(4), 1920 - 1927.

- [7] Gupta, G. 2011. Algorithm for Image Processing Using Improved Median Filter and Comparison of Mean, Median and Improved Median Filter. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 1(5), 304 – 311.
- [8] Jain, A. K. 2010. Data Clustering: 50 Years Beyond K-Means. *Pattern Recognition Letters*, 31, 651 – 666.
- [9] Khan, S. S., Ahmad, A. 2004. Cluster Center Initialization Algorithm for K-Means Clustering. *Pattern Recognition Letters*, 25, 1293 – 1302.
- [10] Kaushik, P., Sharma, Y. 2012. Comparison of Different Image Enhancement Techniques Based Upon PSNR & MSE. *International Journal of Applied Engineering Research*, 7(11), 2010-2014.
- [11] Lien, C. Y., Huang, C. C., Chen, P. Y., Lin, Y. F. 2013. An Efficient Denoising Architecture for Removal of Impulse Noise in Images, *IEEE Transactions on Computers*, 62(4), 631-643.