

ÖZ

Gürültü, işaretlerin bozulmasına neden olan etkidir. Gürültü, görüntünün kameraya alınması ve kanaldan iletimi sırasında işarete karışmaktadır. Görüntü algılayıcısındaki piksel elemanları normal çalışmadığında, algılayıcı gürültüsü, ölçüm hatası, kuvvetli elektromanyetik alan, atmosferik olaylar nedeniyle oluşan dalgalanmalar veya veri iletiminde hatalar oluştuğunda sayısal görüntüde dürtü gürültüsü ortaya çıkmaktadır. Gürültülü görüntüde siyah ve beyaz pikseller oluştuğu için dürtü gürültüsüne tuz ve biber gürültüsü denmektedir.

Sayısal görüntülerdeki tuz ve biber gürültüsünü gidermek için ortanca süzgeç (OS) kullanılmaktadır. Tuz ve biber gürültüsünün küçük yoğunluklarında bile ortanca süzgeçleme sonucu oluşan görüntüde, gürültü kaybolmakta ama bulanıklık oluşmaktadır. %20 ve üzeri gürültü yoğunluğuna sahip görüntülere OS uygulandığında gürültü tamamen yok olmamakta ve bulanıklık oluşmaktadır. Bulanıklık oluşmasının ve ayrıntıların yok olmasının sebebi, gürültüyü bastırırken gürültü olup olmadığına bakılmaksızın gürültülü görüntüdeki her piksele OS uygulanmasıdır. Böylece, gürültü olmayan gerçek piksel değerleri, ortanca değerle yer değiştirmektedir.

Bu tez çalışmasında, gürültüyü bastırırken ayrıntıları korumak için yeni süzgeçleme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu süzgeçleme yöntemlerinde ilk adım, gürültü piksellerini belirlemektir. İkinci adımsa, belirlenen gürültü piksellerine süzgeç uygulanmasıdır. Bu çalışmada önerilen iki adımlı süzgeçleme yöntemleri; şartlı ortanca süzgeç (ŞOS), şartlı dört yönlü ortalama süzgeç (ŞDYOS) ve şartlı dört yönlü ortalama değer merkezli bulanık süzgeç (ŞDYOBS) olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemlerin şartlı olarak adlandırılmasının sebebi, gürültü pikseli varsa süzgeçleme yapılmasıdır. Bu üç süzgecin sonuçları, OS başta olmak diğer klasik ve bulanık süzgeçlerle karşılaştırılmıştır. Önerilen süzgeçler, gürültü bastırma ve ayrıntıları koruma işlemini başarılı bir şekilde gerçekleştirmektedirler.

Anahtar Sözcükler: Görüntü İşleme, Dürtü Gürültüsü, Bulanık Süzgeç

ABSTRACT

Noise is the undesired effect causing the corruption of signals. Digital images are contaminated with noise during image acquisition and transmission over communication channels. Owing to nonidealities encountered in image sensors, sensor noise, measurement error, strong electromagnetic field, fluctuations due to the atmospheric phenomena and errors in data transmission, digital images are corrupted by impulse noise. Since black and white pixels occur in noisy image impulse noise is called salt and pepper noise.

The median filter is used in suppressing impulse noise in digital images. It removes thin lines, distorts edges and blurs image details even at low noise densities. When the median filter is applied to images having 20% or more noise density, noise does not totally disappear and images blur. The reason for this image blurring and for the disappearance of details is the application of the median filter to every pixel without considering whether it is noisy. So the undisturbed original pixel values are interchanged with the median value.

In this thesis, new filtering methods are developed for suppression of noise and preservation of details. The first step in these filtering methods is to determine noisy pixels. The second step is the application of the filter to corrupted pixels. The two step filtering methods proposed in this work are conditional median filter, conditional four directional moving average filter and conditional symmetrical triangle fuzzy filter with four directional moving average center. These methods are called conditional because the filtering is applied whenever the pixel is noisy. Results of these three filters are compared with median filter, and with other classical and fuzzy filters. The proposed filters successfully achieve noise suppression and detail preservation.

Key Words: Image Processing, Impulsive Noise, Fuzzy Filter

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
2.GENEL BİLGİLER.....	6
2.1. Bulanık Mantık	18
2.2. Görüntü İşlemeyle İlgili Temel Bilgiler.....	20
2.2.1. Sayısal Görüntü.....	20
2.2.2. Görüntü Matrisi.....	20
2.2.3. Görüntü Çözünürlüğü.....	22
2.2.4. Bir Pikselin Komşuları.....	22
2.2.5. Maske (Süzgeç, Çekirdek) ve Maskeleme (Süzgeçleme).....	22
2.2.6. Gürültü.....	25
2.2.6.1. Dürtü (Tuz ve Biber, Darbe) Gürültüsü.....	26
2.2.7. Gürültüyü Yok Etmek İçin Kullanılan Süzgeçler.....	27
2.2.7.1. Ortalama Süzgeç (OrS).....	28
2.2.7.2. Ortanca (Medyan, Orta Değer) Süzgeç (OS)	29
2.2.7.3. Merkez Ağırlıklı Ortanca Süzgeç (MAOS)	31
2.2.7.4. Anahtarlamalı Ortanca Süzgeç (AnOS)	32
2.2.7.5. Üç Durumlu Ortanca Süzgeç (ÜDOS)	32
2.2.7.6. Çok Durumlu Süzgeç (ÇDOS)	33
2.3. Bulanık Süzgeçler.....	33
2.3.1. Bulanık Çok Seviyeli Ortanca Süzgeç (BÇSOS).....	34
2.3.2. Genel Pencere İşlevine Dayalı Bulanık Süzgeçler.....	37
2.3.2.1. Ortanca Süzgeç.....	37
2.3.2.2. Ortalama Süzgeç.....	38
2.3.2.3. Ortanca Merkezli Gauss (Rasgele) Bulanık Süzgeç (GO).....	38
2.3.2.4. Ortanca Merkezli Simetrik Üçgen Bulanık Süzgeç (ÜO).....	40
2.3.2.5. Ortanca Merkezli Asimetrik Üçgen Bulanık Süzgeç (AÜO)	41
2.3.2.6. Ortalama Merkezli Gauss (Rasgele) Bulanık Süzgeç (GOr).....	42
2.3.2.7. Ortalama Merkezli Simetrik Üçgen Bulanık Süzgeç (ÜOr)	43
2.3.2.8. Ortalama Merkezli Asimetrik Üçgen Bulanık Süzgeç (AÜOr).....	45
2.4. Literatürde Yer Alan Tuz ve Biber Gürültülü Görüntüler.....	46
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	51
3.1. Şartlı Ortanca Süzgeç (ŞOS).....	51

3.2. Şartlı Dört Yönlü Ortalama Süzgeç (ŞDYOS).....	52
3.3. Şartlı Dört Yönlü Ortalama Değer Merkezli Simetrik Üçgen Bulanık Süzgeç.....	57
4. BULGULAR.....	60
5. TARTIŞMA.....	78
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	81
7. KAYNAKLAR.....	84
8. EKLER.....	91
8.1. ŞOS İçin Yazılan Program.....	91
8.2. ŞDYOS İçin Yazılan Program.....	93
8.3. ŞDYOBS İçin Yazılan Program.....	95
8.4. ŞDYOS5 İçin Yazılan Program.....	97
8.5. ŞDYOBS5 İçin Yazılan Program.....	100
8.6. DYOS İçin Yazılan Program.....	104
8.7. DYOBS İçin Yazılan Program.....	106
ÖZGEÇMİŞ.....	110

SİMGELER VE KISALTMALAR

- AD : Anderson-Darling uyum iyiliği testi
- AnOS : Anahtarlamalı Ortanca Süzgeç
- AÜO : Ortanca Merkezli Asimetrik Üçgen Bulanık Süzgeç
- AÜOr : Ortalama Merkezli Asimetrik Üçgen Bulanık Süzgeç
- BS : İnterpolasyon Tabanlı Üçgensel Gürültü Bastırma Süzgeci
- BS-Kİ : Kübik İnterpolasyon Tabanlı Üçgensel Gürültü Bastırma Süzgeci
- BS-Dİ : Doğrusal İnterpolasyon Tabanlı Üçgensel Gürültü Bastırma Süzgeci
- BS-Küİ : Küresel İnterpolasyon Tabanlı Üçgensel Gürültü Bastırma Süzgeci
- BÇSOS : Bulanık Çok Seviyeli Ortanca Süzgeç
- Corr : Pearson Korelasyon Katsayısı
- ÇDOS : Çok Durumlu Ortanca Süzgeç
- DS : Dairesel Poligon Tabanlı Uyarlamalı Bulanık Süzgeç
- DYOS: Dört Yönlü Ortalama Süzgeç
- DYOBS: Dört Yönlü Ortalama Değer Merkezli Simetrik Üçgen Bulanık Süzgeç
- GAS : Gürültü Ayrıcılık Süzgeç
- GO : Ortanca Merkezli Gauss (Rasgele) Bulanık Süzgeç
- GOr : Ortalama Merkezli Gauss (Rasgele) Bulanık Süzgeç
- k-UBS:En Yakın k Komşuluktaki Piksellere Dayalı Uyarlamalı Bulanık Süzgeç
- L: Gri seviyelerin toplam sayısı
- MAE: Ortalama Hata
- MAOS : Merkez Ağırlıklı Ortanca Süzgeç
- MSE : Karesel Ortalama Hata
- NMSE : Normalize Ortalama Karesel Hata
- OS: Ortanca (Medyan) Süzgeç
- OrS : Ortalama Süzgeç
- P_{max} : Olabilecek en büyük pencere büyüklüğüne sahip süzgeç penceresi
- PSNR : Tepe sinyal-gürültü oranı
- ŞDYOS: Şartlı Dört Yönlü Ortalama Süzgeç
- ŞDYOS5: 5x5 Komşuluklu Şartlı Dört Yönlü Ortalama Süzgeç
- ŞDYOBS: Şartlı Dört Yönlü Ortalama Değer Merkezli Simetrik Üçgen Bulanık Süzgeç
- ŞDYOBS5: 5x5 Komşuluklu Şartlı Dört Yönlü Ortalama Değer Merkezli Simetrik Üçgen Bulanık Süzgeç

ŞOS: Şartlı Ortanca Süzgeç

ÜDOS : Üç Durumlu Ortanca Süzgeç

ÜO : Ortanca Merkezli Simetrik Üçgen Bulanık Süzgeç

ÜOr : Ortalama Merkezli Simetrik Üçgen Bulanık Süzgeç

χ^2 : Ki-kare

Z_{\max} : P_{xy} penceresindeki en büyük gri seviye değeri

Z_{\min} : P_{xy} penceresindeki en küçük gri seviye değeri

Z_{ortanca} : P_{xy} penceresinin ortanca değeri

Z_{xy} : P_{xy} penceresinin merkezindeki piksel

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	F bulanık kümesine ilişkin üyelik işlevi	18
Şekil 2.2.	Bulanık sistem.....	19
Şekil 2.3.	MxN boyutlu görüntünün piksellerden oluşan yapısı	20
Şekil 2.4.	a) Görüntü b) a'da beyaz çerçeveye işaretli görüntü parçasının büyütülmüş hali c) b'deki görüntü parçasının görüntü matrisi	21
Şekil 2.5.	(x,y) koordinatlı pikselin komşuları	22
Şekil 2.6.	a) 3x3 piksel boyutlu maske b) 3x3 piksellik maskenin katsayıları.....	23
Şekil 2.7.	Doğrusal süzgeçleme.....	23
Şekil 2.8.	8x8 piksel boyutlu görüntü	24
Şekil 2.9.	Süzgeç	24
Şekil 2.10.	Süzgeçlenmiş görüntü	25
Şekil 2.11.	Asıl görüntü b) %10 c) %20 d) %30 e) %40 f) %50 g) %60 yoğunluğunda dürtü gürültüsü eklenmiş Satürn görüntüsü	27
Şekil 2.12.	a) 3x3 piksel boyutlu OrS b) 5x5 piksel boyutlu OrS.....	28
Şekil 2.13.	Görüntü alt matrisi	28
Şekil 2.14.	a) + biçimli en yakın dört komşuluk b) 9 piksel içeren 3x3 kare komşuluk c) 21 piksellik 5x5 sekizgen komşuluk d) 25 piksel içeren 5x5 kare komşuluk e) 37 piksel içeren 7x7 sekizgen komşuluk	29
Şekil 2.15.	a) Görüntü matrisi ve 3x3'lük maske b) Ortanca değerinin bulunması.....	29
Şekil 2.16.	a) %1 dürtü gürültülü görüntü b) 3x3 piksel boyutlu OS sonucu.....	30
Şekil 2.17.	a) Asıl görüntü b) %10 tuz ve biber gürültülü görüntü c) 3x3 piksel boyutlu OS sonucu	30
Şekil 2.18.	a) Asıl görüntü b) %20 tuz ve biber gürültülü görüntü c) 3x3'lük kare komşuluk kullanan OS sonucu d) 5x5'lik sekizgen komşuluk kullanan OS sonucu	31
Şekil 2.19.	Güvenilirlik işlevi.....	35
Şekil 2.20.	3x3 piksel boyutlu penceredeki gri seviye değerleri.....	36
Şekil 2.21.	Siyah ve beyaz pikseller içeren gürültülü galaksi görüntüsü.....	47
Şekil 2.22.	Dürtü gürültülü uzay görüntüsü.....	48
Şekil 2.23.	a) Beyaz piksel içeren uzay görüntüsü b) OS ile elde edilen görüntü....	48
Şekil 2.24.	a) Orbiter yörünge aracı tarafından çekilen ay yüzeyi görüntüsü b) Clementine uydusu tarafından çekilen ay yüzeyi görüntüsü	49
Şekil 2.25.	Kenar belirleme işlemi uygulanan, Orbiter ve Clementine'e ait görüntülerin fark görüntüsü	49
Şekil 2.26.	Fark görüntüsündeki dürtü gürültüsünü gidermek için uygulanan OS sonucu	50

Şekil 2.27.	a) Taranmış görüntü b) Süzgeç sonucu.....	50
Şekil 3.1.	a) Görüntü matrisi b) OS uygulandığında elde edilen sonuç.....	52
Şekil 3.2.	Merkez pikseli dürtü gürültüsü olan 3x3'lük görüntü matrisi.....	54
Şekil 3.3.	Merkez pikseli gürültü olan 3x3'lük görüntü matrisi.....	55
Şekil 3.4.	Tuz ve biber gürültüsüne sahip 3x3'lük görüntü matrisi.....	56
Şekil 3.5.	Yatay alt penceredeki (W_1) piksellerin tümü gürültü olan 3x3'lük görüntü matrisi	56
Şekil 3.6.	Merkez pikseli gürültü olan 3x3 boyutlu pencere.....	58
Şekil 4.1.	a) Lena b) %10 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler	61
Şekil 4.2.	a) Lena b) %20 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler	61
Şekil 4.3.	a) Lena b) %30 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler	62
Şekil 4.4.	a) Lena b) %40 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler	62
Şekil 4.5.	a) Lena b) %50 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler	63
Şekil 4.6.	a) Lena b) %60 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler	63
Şekil 4.7.	a) Lena b) %70 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler	64
Şekil 4.8.	Lena görüntüsünün farklı gürültü yoğunluklarında MSE değerlerini karşılaştırma grafiği	65
Şekil 4.9.	a) Kameraman b) %10 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler	65
Şekil 4.10.	a) Kameraman b) %20 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler	66
Şekil 4.11.	a) Kameraman b) %30 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler	66
Şekil 4.12.	a) Kameraman b) %40 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS	

- e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde...67
edilen görüntüler
- Şekil 4.13.** a) Kameraman b) %50 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS
e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde
edilen görüntüler67
- Şekil 4.14.** a) Kameraman b) %60 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS
e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde
edilen görüntüler68
- Şekil 4.15.** a) Kameraman b) %70 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS
e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde
edilen görüntüler68
- Şekil 4.16.** Kameraman görüntüsünün farklı gürültü yoğunluklarında MSE
değerlerini karşılaştırma grafiği69
- Şekil 4.17.** a) Asıl Lena görüntüsü b)%40 dürtü gürültülü görüntü c) OS
d) MAOS e) AnOS f) ÜDOS g) ÇDOS h) GAS i) DS j) SF-CI
k) SF-LI l) SF-SI m) ŞOS n) ŞDYOS o) ŞDYOBS p) ŞDYOS5
r) ŞDYOBS5 s) DYOS t) DYOBBS kullanılarak elde edilen
görüntüler71
- Şekil 4.18.** a) Lena görüntüsü b) %10 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS
d) BÇSOS e) GO f) ÜO g) AÜO h) GOr i) ÜOr j) AÜOr k) ŞOS
l) ŞDYOS m) ŞDYOBS n) ŞDYOS5 o) ŞDYOBS5 p) DYOS
r) DYOBBS kullanılarak elde edilen görüntüler74
- Şekil 4.19.** a) Asıl görüntü b) %5 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS
d) ŞDYOS e) ŞDYOBS kullanılarak elde edilen görüntüler76

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Şekil 2.7'deki görüntüyü oluşturan piksellerin gri değerleri	25
Çizelge 2.2. $x(i+r,j+s)$ 'nin f dağılımı.....	39
Çizelge 4.1. Lena görüntüsü için MSE değerleri.....	64
Çizelge 4.2. Kameraman görüntüsü için MSE değerleri.....	69
Çizelge 4.3. %40 tuz ve biber gürültülü Lena görüntüsüne ait MSE değerleri.....	72
Çizelge 4.4. %40 tuz ve biber gürültülü Lena görüntüsüne ait analiz süreleri.....	73
Çizelge 4.5. %10 tuz ve biber gürültülü Lena görüntüsüne ait MSE değerleri.....	75
Çizelge 4.6. %30 tuz ve biber gürültülü Lena görüntüsüne ait MSE değerleri.....	75
Çizelge 4.7. %5 tuz ve biber gürültülü görüntüye ait MSE değerleri.....	76
Çizelge 4.8. 255 değerli piksel miktarlarının alt görüntü sayısına göre dağılımı	77

1. GİRİŞ

Bir sayısal görüntü, belirli bir konuma ve değere sahip sonlu sayıda eleman içermektedir. Bu elemanlar; görüntü ögesi veya piksel olarak adlandırılmaktadır. Sayısal görüntü; boyutu (veya toplam piksel sayısı), içerdiği gri seviyelerin sayısı (veya bir pikseli belirten bit sayısı) ile tanımlanmaktadır.

Sayısal görüntüler; gürültülü, parlak, karanlık, düşük kontrastlı, yüksek kontrastlı, bulanık ve keskin olabilmektedir. Ayrıca; ilgilenilen ön veya arka plan görüntüsünün çıkarılması ve nesnelerin dış hatlarının (kenarlarının) elde edilmesi istenebilmektedir. Sayısal görüntü işleme, insanın görüntüyü daha iyi yorumlayabilmesi için görüntünün iyileştirilmesi ve bilgisayarın görüntüyü yorumlayabilmesi için görüntünün analizinin yapılmasıdır. Amaç; bir görüntüyü, istenen özelliklere sahip başka bir görüntüye dönüştürmektir (Greenberg, 1992).

Görüntü işlemenin uygulama alanları çok çeşitlidir. Çünkü; sayısal görüntüler, uygulama ve araştırma alanlarında yaygın olarak kullanılan verilerdir. Bu yüzden, sayısal görüntülerin içerdikleri yararlı bilgilerin elde edilmesi büyük önem taşımaktadır (Boyraz ve ark., 2005). Bu yöntemler; uzay araştırmalarında (ay, galaksi gibi uzay görüntülerinin iyileştirilmesi), tıpta (x ışını, MR görüntülerinin daha kolay yorumlanması için kontrastlığın zenginleştirilmesi veya gri parlaklık seviyelerine çeşitli renklerin atanması), coğrafyada (hava ve uydu görüntülerinin iyileştirilmesi), arkeolojide (zarar görmüş tarihi eserlerin örneğin metin veya eşyanın görüntülerini alarak ilk durumlarının elde edilmesi), fizik ve biyolojide (mikroskop görüntülerinin iyileştirilmesi), endüstride (üretim aşamasında nesnenin denetlenmesi), savunma sanayinde (gece görüş, akıllı robot sistemleri), biyometrik tanıma ve güvenlik sistemlerinde (iris-parmak izi tanınması, güvenlik kamerası uygulamaları) kullanılmaktadır.

Gürültü, sayısal bilgilerin elde edilmesi aşamasında ortamdan, aletlerden ve kişilerden kaynaklanan, işareti bozucu etkilere sahiptir. Gürültü; görüntüyü elde ederken, kopyalarken, tarayıcıdan geçirirken, iletirken, depolarken oluşabilmektedir. Örneğin; görüntü elde edilirken, algılayıcı merceğindeki toz, gürültü oluşturabilmektedir. Eğer; görüntü, bir fotoğraftan taranıyorsa resimdeki bir zarar, gürültü oluşturabilmektedir veya tarayıcının kendisi gürültü oluşturabilmektedir.

Dürtü (tuz ve biber, darbe) gürültüsü, görüntü algılayıcısındaki piksel elemanları normal çalışmadığında, ölçüm hatası olduğunda, kuvvetli elektromanyetik alan

oluştığında veya veri iletiminde hatalar oluştuğunda meydana gelmektedir (Çivicioğlu, 2006). Dürtü gürültüsü, görüntüdeki bazı piksel değerlerinin, görüntünün sahip olabileceği alt ve üst sınır değerlerle değiştirilmesiyle oluşmaktadır (Baştürk, 2006). Gürültülü piksel, tuz ve biber görünümü olup pikselleri 8 bitle temsil edilen bir görüntü için biber gürültüsünün değeri 0, tuz gürültüsünün değeri 255'tir.

Gri seviye görüntüdeki tuz ve biber gürültüsünü gidermek için ortanca (medyan) süzgeç (OS) kullanılmaktadır. OS, her süzgeç penceresindeki merkez pikselin değerini, pencere elemanlarının ortanca değeriyle değiştirmektedir. Ortanca değer, pencere elemanları küçükten büyüğe sıralandığında ortadaki değerdir.

Tuz ve biber gürültüsü, önemli gürültü türlerinden biridir (Gonzalez ve Woods, 2002). Görüntü verisinin elde edilmesi, iletimi ve işlenmesi sırasında tuz ve biber gürültüsüyle bozulması, görüntü işlemede sık karşılaşılan bir sorundur (Beşdok ve ark., 2005). Bu yüzden, literatürde OS ve çeşitlerine geniş yer verilmektedir. Ayrıca; son yıllarda, tuz ve biber gürültüsünü gidermek amacıyla yeni yaklaşımlar önerilmektedir. Bu tez çalışması, görüntülerdeki dürtü gürültüsünü gidermek için yeni öneriler sunmak amacıyla yapılmıştır.

Tuz ve biber gürültüsünün küçük yoğunluklarında bile OS sonucu oluşan görüntüde, gürültü kaybolmakta ama bulanıklık oluşmaktadır. %20 ve üzeri gürültü yoğunluğuna sahip görüntülere OS uygulandığında gürültü tamamen yok olmamakta ve bulanıklık oluşmaktadır (Chen ve Wu, 2001 b).

Bulanıklık oluşmasının ve ayrıntıların yok olmasının sebebi; gürültüyü bastırırken, gürültü olup olmadığına bakılmaksızın, gürültülü görüntüdeki her piksele OS uygulanmasıdır. Böylece, gürültü olmayan gerçek piksel değerleri, ortanca değerle yer değiştirmektedirler. Bunu önlemek için; bu çalışmada, üç tane süzgeç yapısı önerilmektedir. Bu süzgeçler, yalnız gürültü piksellerine uygulandığı için adlandırılırken 'şartlı' kelimesi kullanılmaktadır. Önerilen süzgeçler; şartlı ortanca süzgeç (ŞOS), şartlı dört yönlü ortalama süzgeç (ŞDYOS) ve şartlı dört yönlü ortalama değer merkezli bulanık süzgeç (ŞDYOBS)'tir.

ŞOS'te, yalnız gürültü piksellerine OS uygulanmaktadır. Bu durumda, merkezdeki pikselin değeri, ortanca değerle değiştirilmektedir. Ama piksel, gürültülü değilse süzgeçleme yapılmamakta ve pikselin gri seviye değeri aynen kalmaktadır. ŞOS, yalnız bozuk piksellere uygulandığı için, OS'e göre iyi bir süzgeçleme başarımı

sağlamakta ve ayrıntıları, çizgileri, kenarları daha iyi korumaktadır (Altınışik ve ark., 2008).

ŞDYOS'te, ŞOS'te olduğu gibi gürültülü piksele, süzgeçleme işlemi uygulanmaktadır. Diğer piksellerin gri seviye değerleri değişmeden aynen kalmaktadır. Gürültülü pikselin süzgeçlenmiş değerini bulmak için 3x3'lük görüntü matrisi kullanılmaktadır. Hesaplama bu matrisin yatay, dikey ve köşegen olmak üzere dört yönündeki gürültülü olmayan pikselleri kullanılmaktadır. Görüntünün her bir yöndeki piksellerin gri seviye değerlerinde tutarlılık olduğu düşünülerek bu süzgeç geliştirilmiştir. Her bir yöndeki piksellerin ortalaması bulunduktan sonra genel ortalama, bu ortalama değerler toplanarak (dört yön kullanıldığı için) dörde bölünerek hesaplanmaktadır. Genel ortalama değer, ŞDYOS'in sonucudur. ŞDYOS'te, gürültü pikselleri ortalama hesaplanırken kullanılmamaktadır. Böylece; L, toplam gri seviye sayısı olmak üzere, süzgeç matrisindeki 0 ve (L-1) değerli pikseller ortalamayı etkilememektedir (Altınışik ve Sezgin, 2009).

Bulanık süzgeçler, gürültülü görüntüden gürültüyü kaldırırken klasik süzgeçlere göre daha iyi verim sağlamaktadırlar (Nachtegael ve ark., 2001). Bulanık süzgeçler, gürültüyü yok ederken ayrıntıları korumaktadırlar (Lee, 2002). Bulanık süzgeçlerin yapısında bulunan bulanık kümelerin genel ve ikili mantıktan uzak yapısı, gürültülü pikselin yeni değerini bulmada üstünlük sağlamaktadır. Bu çalışmada, literatürde var olan ortanca ve ortalama merkezli bulanık süzgeçler temel alınarak, şartlı dört yönlü ortalama değer merkezli bulanık süzgeç (ŞDYOBS) geliştirilmiştir. ŞDYOBS yapısının geliştirilmesinin sebebi; tuz ve biber gürültüsünü kaldırırken, dört yönlü ortalama süzgecin (DYOS), OS ve ortalama süzgeçlere (OrS) göre daha iyi sonuç vermesidir.

ŞDYOS5 (5x5 Komşuluklu Şartlı Dört Yönlü Ortalama Süzgeç) ve ŞDYOBS5 (5x5 Komşuluklu Şartlı Dört Yönlü Ortalama Değer Merkezli Simetrik Üçgen Bulanık Süzgeç) olarak adlandırılan süzgeçlerde, 3x3 boyutlu alt görüntülerde sağlam piksel bulunmadığı durumlarda 5x5 boyutlu süzgeç maskesi kullanılmaktadır. Böylece, giriş görüntüsündeki gürültü oranına bağlı olarak çalışan ve kendisini uyarlayabilen süzgeçler elde edilmektedir.

Çeşitli yoğunlukta gürültülere sahip görüntülere uygulanan bu üç süzgeç, görsel ve sayısal olarak; OS, diğer klasik süzgeçler ve bulanık süzgeçlerle karşılaştırılmaktadır. Süzgeç başarımlarını sayısal olarak değerlendirmek için literatürde; ortalama hata (MAE), ortalama karesel hata (MSE), normalize ortalama

karesel hata (NMSE), tepe sinyal-gürültü oranı (PSNR) ve Pearson korelasyon katsayısı (Corr) ölçütlerinden yararlanılmaktadır. Bu ölçütler, (1.1), (1.2), (1.3), (1.4) ve (1.5) eşitlikleriyle tanımlanmaktadır (Baştürk ve Yüksel, 2006; Nachtegael ve Kerre, 2000).

$$\text{MAE} = \frac{1}{IJ} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J |s[i, j] - y[i, j]| \quad (1.1)$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{IJ} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (s[i, j] - y[i, j])^2 \quad (1.2)$$

$$\text{NMSE} = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (s[i, j] - y[i, j])^2}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (s[i, j])^2} \quad (1.3)$$

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \frac{I_{\max}^2}{\text{MSE}} \quad (1.4)$$

I ve J, görüntüdeki satır ve sütun sayılarıdır. $i=1,2,\dots,I$, $j=1,2,\dots,J$ olmak üzere $s[i,j]$ ve $y[i,j]$, sırasıyla asıl görüntü matrisi ve süzgeçleme sonucu oluşan görüntü matrisindeki piksel değerleridir. I_{\max} değeri, referans görüntünün en büyük gri seviye değeridir.

$$\text{Corr} = \frac{\sum \sum (S - \bar{S})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum \sum (S - \bar{S})^2 \sum \sum (Y - \bar{Y})^2}} \quad (1.5)$$

$$\bar{S} = \frac{\sum \sum S}{IJ} \quad (1.6)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum \sum Y}{IJ} \quad (1.7)$$

S, asıl görüntü pikselleri ve Y, süzölmüş görüntü pikselleridir (Çivicioğlu ve Alçı, 2003).

Bu çalışmada, MSE değerine bağlı PSNR ve Corr ölçütlerine göre literatürde daha sıklıkla kullanılan MSE değerlendirme ölçütü tercih edilmiştir.

Süzgeçlerle temizlenen görüntülerdeki başarımlar, gürültü bastırma yeteneğindeki başarımlar ve ayrıntıları korumadaki başarımların toplamına eşittir. Gürültü bastırma başarımlarını, gürültülü piksellerin asıl değerleri ve süzgeçleme sonucu elde edilen değerleriyle hesaplanan MSE değeridir. Gürültü bastırma yeteneği, gürültülü piksellerin ne kadar iyi düzeltildiğini göstermektedir. Ayrıntıları koruma başarımlarını, sağlam piksellerin asıl değerleri ve süzgeçleme sonucu elde edilen değerleriyle hesaplanan MSE değeridir. Ayrıntıları koruma başarımlarını; ayrıntıların ne kadar iyi korunduğunu göstermektedir. Klasik ve bulanık süzgeçlerde, tüm piksellere süzgeç uygulandığı için her iki başarımdan bahsetmek mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, yalnız gürültülü piksellere süzgeç uygulandığı için gürültü bastırma başarımlarından söz edilmektedir. Sağlam piksellere müdahale edilmediği için ayrıntılar korunmakta ve hata değeri oluşmamaktadır. Bu yüzden toplam başarımlar, gürültü bastırma başarımlarına eşittir.

Bu çalışmada önerilen süzgeçlerin başarımlarını, klasik ve bulanık süzgeçlere göre hem görsel hem de nicel olarak yüksektir.

Tezde ikinci bölüm olan genel bilgiler kısmında; gri seviye görüntülerdeki tuz ve biber gürültüsünü gidermek amacıyla geliştirilmiş, literatürde yer alan süzgeçlerden bahsedilmektedir. Bunlar, tüm piksellere uygulanan klasik süzgeçler, bulanık süzgeçler ve yalnız gürültü piksellerine uygulanan süzgeçlerdir. Üçüncü tip süzgeçlerde kullanılan gürültü belirleme yöntemleri anlatılmaktadır. Bulanık mantık, görüntü işlemenin temel elemanları, tuz ve biber gürültüsünün yapısı, gürültüyü bastırmak için kullanılan klasik ve bulanık süzgeçlerin özellikleri anlatılmaktadır.

Üçüncü bölüm olan materyal ve yöntemler kısmında, tezde kullanılan gürültü belirleme yöntemi ve önerilen üç tane yeni süzgeç yapısı sunulmaktadır.

Dördüncü bölüm, bulgular ise tez çalışmasında önerilen süzgeçlerin dürtü gürültülü görüntülere uygulanmasını ve elde edilen sonuçları içermektedir. Önerilen süzgeçler; OS, diğer klasik süzgeç, bulanık süzgeç ve yalnız gürültü piksellerine uygulanan süzgeç türleriyle görsellik ve MSE değeri bakımından karşılaştırılmaktadır. Önerilen süzgeçlerin analiz süreleri belirtilmektedir.

Beşinci bölüm, tartışma ise elde edilen süzgeç çıkışlarının daha önceki çalışmalarla karşılaştırılarak değerlendirildiği bölümdür. Süzgeçlerin başarımların sıralamaları ve sıralamaların nedenleri anlatılmaktadır.

Altıncı bölüm olan sonuç ve önerilerde, tez çalışmasından çıkarılan sonuçlar ve gürültü giderme konusunda yapılabilecek çalışmalarla ilgili öneriler yer almaktadır.

2.GENEL BİLGİLER

Gri seviye görüntüdeki dürtü gürültüsünü gidermek için literatürde bir çok süzgeç tanıtılmaktadır. Bunlardan en eski ve yaygın olarak kullanılan OS'tir. Çünkü; OS'te, tuz ve biber gürültüsünü oluşturan piksellerin gri seviye değerleri olan 0 ve 255 (L=256 iken), ortanca değeri etkilememektedir. Ayrıca; yöntem, hesapsal olarak fazla yük getirmemekte ve kolay hesaplanabilmektedir. Ancak %20 ve daha fazla gürültü yoğunluğuna sahip görüntülerde, süzgeç verimi düştüğü için başka süzgeç türleri geliştirilmektedir. Literatürdeki birçok süzgeç, OS yaklaşımından yola çıkılarak geliştirilmişlerdir .

1987'de Perlman ve arkadaşları tarafından önerilen ağırlıklı ortanca süzgeç (AOS), süzgeç penceresinin seçilmiş elemanlarının ağırlıklarını değiştirmektedir. Böylelikle, ortanca değer bulunurken seçilmiş elemanın yinelenme sayısı değişmektedir. Süzgecin gürültü giderme yeteneğinin azaldığı ama kenarları daha iyi koruduğu görülmektedir.

1991'de Ko ve Lee tarafından, AOS temel alınarak, merkez ağırlıklı ortanca süzgeç (MAOS) geliştirilmiştir. Merkez pikselin ağırlığı artırılarak, ağırlık katsayısı kadar yineleme yapıp ortanca bulunmaktadır. Bu süzgecin gürültü gidermedeki başarısı ve kenarları koruma özelliği, OS'e göre daha iyidir (Wang ve Zhang, 1999).

1992'de Pitas, doğrusal ve doğrusal olmayan süzgeçler arasındaki farkları belirtmiş, tuz ve biber gürültülü görüntüye uygulanan OS ve OrS sonuçlarını vermiştir (Pitas, 1992).

1994'te Sun ve Neuvo tarafından, anahtarlamalı ortanca süzgeç (AnOS) geliştirilmiştir. OS ve AOS, gürültülü olup olmadığına bakmaksızın görüntüdeki tüm piksellere uygulanmaktadır. Gürültü olmayan piksellerin gri seviye değerleri değiştiği için görüntü bulanıklaşmaktadır. AnOS'teyse, gürültüden etkilenen piksellere süzgeç uygulanmaktadır. Süzgeç penceresinin merkez piksel değeriyle ortanca değer karşılaştırılmaktadır. Mutlak fark, bir eşik değerinden büyükse, merkez pikselin yeni değeri, ortanca değer olmaktadır. Mutlak fark, bir eşik değerinden küçükse, merkez pikselin değeri değişmemektedir. Eşik değer belirlenmesi sezgisel olduğu için süzgeç başarısını sınırlı olmaktadır (Sun ve Neuvo, 1994).

Yinelemeli ortanca süzgeçler, görüntü üzerinde çok belirgin olarak bulanıklık oluşturmaktadırlar. Bununla birlikte dürtü gürültüsünün bastırılmasında başarı

sağlamaktadırlar (Guoping, 1996).

Chen ve arkadaşları, 1999'da üç durumlu ortanca süzgeci (ÜDOS) önermişlerdir. Bu süzgeç, AnOS çeşididir. Süzgeç çıkışı, gürültü miktarına bağlı olarak birim süzgeç, OS, MAOS çıkışlarından biridir. Başarımın en iyi elde edildiği parametre değerleri, merkez elemanın çoğaltım sayısı 3 ve eşik değer $T \in [10,30]$ olarak belirlenmiştir (Baştürk, 2006).

Chen ve Wo tarafından 2001'de önerilen çok durumlu ortanca süzgeç (ÇDOS) ise birim süzgeç, OS ve farklı merkez ağırlıklarına sahip birden fazla MAOS içermektedir.

Bu süzgeçler, hesapsal olarak yoğun olmalarına rağmen, OS'e göre daha başarılı sonuçlar vermektedirler (Baştürk, 2006).

Son yıllarda, görüntü işleme problemlerinde Anfis (Adaptive network based fuzzy inference system - Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi) kullanılmaktadır. Görüntülerdeki gürültünün giderilmesi ve sezilmesine yönelik Anfis yapıları mevcuttur. Anfis, YSA'larının (yapay sinir ağları) öğrenme yeteneğini ve bulanık mantık sistemlerinin belirsizliği modelleyebilme özelliklerini bir arada bulundurmaktadır. Hızlı ve doğru öğrenme, hem veri hem de uzman bilgisini bir arada kullanabilmesi, iyi genelleme yeteneği gibi özellikler son yıllarda Anfis yapısını oldukça popüler hale getirmiştir (Baştürk ve Yüksel, 2006). Anfis'in parametreleri, bir eğitim algoritması vasıtasıyla giriş-çıkış veri kümesi kullanılarak optimize edilmektedir (Jang, 1993).

Gürültü giderme işleminde Anfis yapısından yararlanılan çalışmalar vardır. Parametre optimizasyonu, hedef ve elde edilen çıkış işareti arasındaki farkın en küçük yapılmasıyla gerçekleşmektedir. Yüksel ve Baştürk'ün 2003 yılında yayınladıkları makalelerinde; girişi, gürültülü görüntü ve çıkışı, asıl görüntü olan Anfis yapısı eğitilmektedir. Anfis, iki alt Anfis yapısından oluşmaktadır. Her birine ait üç tane giriş; gürültülü görüntüdeki merkez piksel ve merkez pikselin, 3x3'lük penceredeki yatay ve dikey yönlerde yer alan her iki yanındaki komşularıdır. 64x64 boyutlu görüntünün 4x4'lük alt görüntü matrisleri, rasgele seçilen gri seviye değerine sahiptir. Anfis yapılarının eğitimi tamamlandıktan sonra, gürültülü merkez pikselin yeni değerini bulmak için, iki alt Anfis yapısının çıkışına yerleştirilen son işlemciyle iki çıkışın ortalaması alınmaktadır. (Yüksel ve Baştürk, 2003).

Yüksel ve Baştürk'ün 2005'teki çalışmalarında; girişi, gürültülü görüntü ve çıkışı, asıl görüntü olan Anfis yapısı eğitilmektedir. Anfis, üç alt Anfis yapısından

oluşmaktadır. Her birine ait üç tane giriş, merkez piksel ve merkez pikselin 3x3'lük pencerelerin farklı yönlerindeki (yatay, dikey ve çapraz) komşularıdır. 64x64 boyutlu asıl eğitim görüntüsünün 4x4'lük alt görüntü matrisleri, rasgele seçilen gri seviye değerine sahiptir. Anfis yapılarının eğitimi tamamlandıktan sonra, gürültülü merkez pikselin yeni değerini bulmak için, üç alt Anfis yapısının çıkışına yerleştirilen son işlemciyle üç çıkışın ortalaması alınmaktadır (Yüksel ve Baştürk, 2005).

Yüksel'in 2005'teki çalışmasında; girişleri, dürtü gürültülü eğitim görüntüsü ve eğitim görüntüsünün OS sonucu; çıkışı, asıl eğitim görüntüsü olan Anfis yapısı eğitilmektedir. 128x128 boyutlu asıl eğitim görüntüsünün 4x4'lük alt görüntü matrisleri, rasgele seçilen gri seviye değerine sahiptir. İstenen ve elde edilen çıkış arasındaki fark, en küçük yapılarak Anfis eğitilmektedir (Yüksel, 2005).

Baştürk ve Yüksel'in 2005 yılında yaptıkları çalışmada; girişleri, dürtü gürültülü görüntüye uygulanan OS, bulanık süzgeç ve birim süzgeç sonuçları; çıkışı, asıl görüntü olan Anfis yapısı eğitilmektedir. 64x64 boyutlu asıl eğitim görüntüsünün 4x4'lük alt görüntü matrisleri, rasgele seçilen gri seviye değerine sahiptir. Parametre optimizasyonu ile Anfis eğitilmektedir (Baştürk ve Yüksel, 2005).

Yüksel'in 2006 yılındaki çalışmasında; beş tane giriş, dürtü gürültülü eğitim görüntüsüne uygulanan dört tane MAOS (farklı merkez ağırlıklarına sahip) sonucu ve gürültülü görüntü verisi; çıkışı, asıl görüntü olan Anfis yapısı eğitilmektedir. Asıl eğitim görüntüsü, 128x128 piksel boyutlu olup her 4x4'lük kutucuk rasgele gri seviyeye sahiptir. Çeşitli yoğunlukta tuz ve biber gürültüsü eklenmiş görüntülerle, süzgeç veriminin literatürdeki süzgeçlere göre yüksek olduğu gösterilmektedir (Yüksel, 2006).

Baştürk ve Yüksel'in 2006'da yaptığı çalışmada; 100x100 piksel boyutlu görüntünün 5x5'lik alt görüntü matrisleri, rasgele seçilen gri seviye değerine sahiptir. Beş girişli, bir çıkışlı Anfis eğitilmektedir. 5 tane giriş, gürültülü görüntüdeki merkez piksel ve merkez pikselin üst, alt, sağ ve sol komşularıdır. Çıkış ise asıl görüntü verisidir. İstenen ve elde edilen çıkış değeri arasındaki hata en küçük olduğunda eğitim tamamlanmaktadır (Baştürk ve Yüksel, 2006).

Gürültü bastırılırken yalnız gürültü piksellerine süzgeç uygulanması, görüntüdeki ayrıntıların korunmasını sağlamaktadır. Böylece, sağlam piksellere süzgeç uygulayarak görüntünün bulanıklaşması önlenmektedir. Bu fikir doğrultusunda geliştirilen, yeni yaklaşımlar vardır. Bu yaklaşımlarda, görüntünün tüm piksellerine uygulanan klasik süzgeçlerden farklı olarak yalnız gürültü piksellerine uygulanan bir yapı söz

konusudur. Bu çalışmalarda, gürültü pikselleri çeşitli şekillerde belirlenmektedir. Aşağıda, belirlenen gürültünün giderilmesi için uygulanan süzgeç yapıları da verilmektedir.

Literatürde, 0 ve 255 değerli pikselleri gürültü kabul eden gürültü belirleme yöntemleri vardır (Çivicioğlu ve Alçı, 2004; Chan ve ark., 2005; Nallaperumal ve ark., 2007; Liu ve ark. 2008).

Çivicioğlu ve Alçı, 2004'te yaptıkları çalışmada, 0 ve 255 değerine sahip pikselleri dürtü gürültüsü olarak belirlemektedirler. Bu çalışmada, interpolasyon tabanlı üçgensel gürültü bastırma süzgeci (BS) önermektedirler. BS süzgeçte, gürültülü görüntü üçgensel ağ ile örülmektedir. Bu üçgenler, merkezde bozuk piksel ve onu çevreleyen en yakın komşuluktaki üç sağlam pikselden oluşmaktadır. Bu üçgenler, en olası eşkenar üçgenlerdir. Üçgende sağlam pikseller, interpolasyon yönteminde kullanılarak bozuk pikselin yeni değeri bulunmaktadır. Doğrusal, kübik ve küresel interpolasyon kullanılarak sırayla; doğrusal interpolasyon tabanlı üçgensel gürültü bastırma süzgeci (BS-Dİ), kübik interpolasyon tabanlı üçgensel gürültü bastırma süzgeci (BS-Kİ), küresel interpolasyon tabanlı üçgensel gürültü bastırma süzgeci (BS-Küİ) elde edilmektedir (Çivicioğlu ve Alçı, 2004).

Beşdok ve arkadaşları, 2004'te yaptıkları çalışmalarda, Sun ve Neuvo'nun 1994'te önerdikleri gürültü bulma yöntemini kullanmışlardır. Buna göre; gürültülü görüntüdeki piksel değeriyle OS uygulanmış görüntüdeki piksel değeri arasındaki mutlak fark, T eşik değerinden büyükse pikselin gürültü olduğuna karar verilmektedir (Sun ve Neuvo, 1994). Çalışmada en iyi sonucun T=45 iken sağlandığı belirtilmektedir. Eşik değer yardımıyla belirlenen gürültü piksellerine uygulanan iki süzgeç, LM (Levenberg-Marquardt) ve Ey (Esnek Geri Yayınım) süzgeçler olarak adlandırılmıştır. Bu süzgeçlerde; gürültülü görüntü, 16x16 piksel boyutlu alt görüntülere bölünmektedir. Gürültü pikselleri bulduktan sonra, sağlam piksellerin gri seviye değerleri ve koordinatları belirlenmektedir. Giriş verisi, sağlam piksellerin koordinatları; çıkış verisi, gri seviye değerleri olan YSA (yapay sinir ağ) eğitilmektedir. Eğitilen YSA ile gürültü piksellerinin yeni değerleri belirlenmektedir (Beşdok ve ark., 2004).

Pok ve Liu, 2003'te yayınladıkları makalelerinde; merkez pikselle türdeş komşu piksel sayısı, türdeş olmayan piksel sayısından büyük olduğunda, merkez pikselin sağlam olduğuna karar vermişlerdir. Ters durumdaysa merkez piksel, gürültüdür. I,

merkez pikselin gri seviye değeri iken $I \pm d$ (d, küçük bir değer) şartını sağlayan pikseller, merkez pikselle türdeş olarak nitelendirilmektedir (Pok ve Liu, 2003).

Anfis, gürültü piksellerini belirlemede de kullanılmaktadır. Yüksel ve Beşdok, 2004'te yaptıkları çalışmada; merkez pikselin değeri, merkez piksel gürültüyse OS (veya MAOS) sonucuyla değişmekte, gürültü değilse aynı kalmaktadır. Gürültü sezici olarak Anfis yapısı kullanılmaktadır. Asıl görüntü, 64x64 piksellik görüntü olup 4x4 boyutlu kutucuklara rasgele gri seviye atanmıştır. Giriş eğitim görüntüsü, tuz ve biber gürültülü görüntüdür. Hedef eğitim görüntüsü ise asıl eğitim görüntüsünün parlaklık değerlerinden giriş eğitim görüntüsünün parlaklık değerlerinin çıkarılmasıyla elde edilmektedir. Sıfır değerli fark, siyah piksel; sıfır olmayan fark, beyaz piksel olarak hedef eğitim görüntüsünü oluşturmaktadır. İki alt Anfis yapısının girişleri; giriş eğitim görüntüsündeki merkez piksel ve merkez pikselin 3x3'lük penceredeki yatay ve dikey yönlerdeki iki tane komşularıdır. Çıkış, hedef eğitim görüntüsündeki merkez piksel değeri olup 0 veya 255' tir. Eğitilen alt sezicilerin çıkışları, gürültünün varlığına karar verecek olan karar verici birimine uygulanmaktadır. Karar verici, çıkış değerlerinin ortalamasını bulmakta ve bu değeri eşik değer (giriş görüntüsünün dinamik parlaklık alanının orta değeri= $(L_{\min} + L_{\max})/2$) ile karşılaştırarak 0 veya 1'e karşılık düşürmektedir. Merkez piksel, gürültülü olarak sezilmişse son işlemcinin çıkışı 1, diğer durumda 0'dır (Yüksel ve Beşdok, 2004).

Yüksel ve ark., 2004'te yaptıkları çalışmada; merkez pikselin değeri, merkez piksel gürültüyse OS sonucuyla değiştirilmekte, gürültü değilse aynı kalmaktadır. Gürültü sezici olarak Anfis yapısı kullanılmaktadır. Anfis parametreleri; sezicinin çıkışı, ideal dürtü sezicisinin çıkışına yakınsayınca kadar eğitim yoluyla ayarlanmaktadır. Gürültü sezici, dört alt sezici ve son işlemciden oluşmaktadır. Dört alt Anfis yapısının girişleri; gürültülü görüntüdeki merkez piksel ile farklı yönlerdeki (yatay, dikey ve çapraz) komşuları arasındaki fark değerleridir. Eğitilen alt sezicilerin çıkışları, gürültünün varlığına karar verecek olan son işlemciye uygulanmaktadır. Son işlemci, çıkış değerlerinin ortalamasını bulmakta ve bu değeri eşik değer (giriş görüntüsünün dinamik parlaklık alanının orta değeri) ile karşılaştırarak 0 veya 1'e karşılık düşürmektedir. Merkez piksel, gürültülü olarak sezilmişse son işlemcinin çıkışı 1, diğer durumda 0'dır (Yüksel ve ark., 2004).

Luo'nun, 2007'de yayınladığı makaledeki algoritma, gürültü belirleme ve gürültü süzme aşamalarından oluşmaktadır. 3x3'lük penceredeki piksel değerleri küçükten

büyüğe doğru sıralanmaktadır. Merkez piksel, ortadaki değere göre simetrik olan değerlerin küçüğünden küçükse veya büyüğünden büyükse, merkez pikselin gürültü olabilme olasılığı vardır. Bu durumda, $\eta_{ij} = 1$ değerini almaktadır. Ters durumda, $\eta_{ij} = 0$ olmaktadır. Tek başına bu şartın gürültüyü belirlemeye yetmeyeceği düşünülerek, merkez pikselle komşuları arasındaki farkın mutlak değerleri toplanarak ω_{ij} değerine atanmaktadır. η_{ij} ve ω_{ij} değerleriyle hesaplanan ξ_{ij} değeri, (2.1) eşitliğinde verilmektedir. N, 3x3'lük penceredeki toplam piksel sayısıdır.

$$\xi_{ij} = \frac{1}{N-1} \omega_{ij} \eta_{ij} \quad (2.1)$$

W_1 ve W_2 , önceden belirlenmiş parametreler olmak üzere; $\xi_{ij} \leq W_1$ ise piksel gürültülü değil, $\xi_{ij} \geq W_2$ ise piksel gürültülüdür. Gürültülü olduğu belirlenen piksel değeri, OS sonucuyla değiştirilerek gürültü giderilmektedir (Luo, 2007).

Literatürde, dürtü gürültüsünü sezmede kullanılan istatistiksel tabanlı bir yaklaşım yer almaktadır. Bir görüntü içerisinde bulunan piksel değerleri, görüntü içerisindeki nesnelere ait dokuları ifade edecek şekilde gruplandırıldığı için gerçek dünyaya ait görüntülerde herhangi bir gri değer, görüntü yüzeyi üzerinde düzgün dağılmamaktadır (Çivicioğlu ve Alçı, 2006). İstatistiksel yöntemle, normal dağılıma uygunluğu belirlenen pikseller, dürtü gürültüsüyle bozulmuş değerler olarak düşünülmektedir.

Gri seviye değerinin gürültü olup olmadığı araştırılırken istatistik yöntemlerden yararlanılmaktadır. Gözlenen örnek değerlerinin, bir teorik dağılıma uyup uymadığının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen testlere uygunluk veya uyum iyiliği testleri denmektedir. Uyum iyiliği için kullanılan Ki-kare, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Lilliefors, Jarque-Bera gibi testler vardır (Okatan, 2007).

Ki-kare (χ^2), aritmetik ortalaması sıfır ve varyansı bir olan standart normal dağılımlı bir yığından her biri diğerinden bağımsız olarak seçilen v birimli örneğe ait değerlerin kareleri toplamı demektir. Ki-kare uygunluk testinde, gözlenen bir değişkenin beklenen bir dağılıma uygunluğu araştırılmaktadır. H_0 hipotezinde söz konusu dağılıma uygunluğu, H_1 hipotezinde ise uygun olmadığı iddia edilmektedir (Oktay, 1990).

Ki-kare uyum iyiliği testi için, örnekten derlenen veri, bir frekans dağılımına dönüştürülmektedir. Bu amaçla ilgili değişkenin aldığı değerlerin değer aralığı uzunlukları birbirine eşit ve sınıf olarak adlandırılan alt aralıklara bölünerek her sınıfa ait gözlenen frekanslar (f_i) kaydedilmektedir. Gözlenen frekanslara karşılık, teorik dağılıma göre beklenen frekanslar (b_i) hesaplanmaktadır.

k , teorik dağılımın parametre sayısı olmak üzere, f_i ve b_i farklarının karelerinin teorik değerlere oranının toplamı, m (örnek sayısı) büyüdükçe, $s.d=m-k-1$ serbestlik dereceli teorik χ^2 dağılımına yaklaşan bir test istatistiği vermektedir (Okatan, 2007).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(f_i - b_i)^2}{b_i} \quad (2.2)$$

(2.2) eşitliğiyle hesaplanan χ^2 değeri, belirlenen α anlamlılık düzeyi ve serbestlik derecesinde χ^2 tablosundan bulunan değerle karşılaştırılmaktadır. Eğer tablo değeri, hesap değerinden büyükse H_0 kabul edilmektedir. Uygulamada genellikle %5 anlamlılık düzeyine göre hipotez değerlendirilmektedir. 0.05 anlamlılık değeri, hesaplanan χ^2 değerinin %95 olasılıkla bu sınırlar arasına; %5 olasılıkla bu sınırlar dışına düşebileceğini kabul etmektedir (http://www.istatistikanaliz.com/orneklembuyuklugunun_saptanmasi.asp, 29.12.2009).

0 ve 255 gri seviye değerlerinin gürültü olup olmadığı χ^2 testiyle araştırılırken görüntü 32x32 piksel boyutlu alt görüntülere ayrılmaktadır (Çivicioğlu ve Alçı, 2006). Her bir alt görüntüde ilgili gri seviye değerinin miktarı belirlenmektedir. Her bir miktara sahip kaç tane alt görüntü olduğu bulunarak, m elemanlı gözlenen frekanslar sütunu oluşturulmaktadır. Normal dağılım parametreleri (ortalama değer ve standart sapma değeri), (2.3) ve (2.4) eşitlikleriyle hesaplanmaktadır. Normal eğri altındaki alan ve her sınıfa ait alan hesaplanmaktadır. Beklenen frekanslar, her sınıfa ait alanın tek tek toplam frekansla çarpılmasıyla bulunmaktadır (Oktay, 1990). (2.2) eşitliğiyle hesaplanan χ^2 değeri, $\alpha=0.05$ ve normal dağılım için bağımsız parametre sayısının 2 olmasından dolayı, $s.d=m-k-1=m-2-1=m-3$ serbestlik derecesinde χ^2 tablosundan bulunan değerle karşılaştırılmaktadır. Hesaplanan χ^2 değeri, tablodaki değerden küçükse H_0 hipotezi kabul edilmektedir. Bu, ilgili gri seviye değerinin, normal dağılımlı olup dürtü gürültüsü

özelliği taşıdığını göstermektedir. Hesaplanan χ^2 değeri, tablodaki değerden büyükse H_0 hipotezi reddedilmektedir. Bu, ilgili gri seviye değerine sahip piksellerin dürtü gürültüsüyle bozulmamış olduğunu göstermektedir.

$$\bar{X} = \frac{\sum f.m}{\sum f} \quad (2.3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum f(m - \bar{X})^2}{\sum f}} \quad (2.4)$$

Literatürde, dürtü gürültüsü sezmede, istatistiksel yaklaşıma dayanan bir çok çalışmaya rastlanmaktadır. Spiegel ve ark., 2000 yılında Kolmogorov-Smirnov uygunluk testinden yararlanmışlardır. Aynı yılda yaptıkları başka çalışmada Lillietest (Lilliefors test) adlı uygunluk testini kullanmışlardır. Christopher ve Abdelhak, 2001 yılında, Anderson-Darling (AD) uygunluk testinden yararlanmışlardır. AD uygunluk testinin, Kolmogorov-Smirnov ve Lillietest yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Çivicioğlu ve arkadaşları, 2004'te yaptıkları çalışmada, dürtü gürültüsünü belirlemek için χ^2 uygunluk testinden yararlanmışlardır. Gri seviye değerlerinin dürtüsel davranışını analiz etmek için 512x512 piksel boyutlu Lena görüntüsü, 32x32 piksel boyutlu alt görüntüleri bölünmektedir. İlgili gri seviyenin her bir alt görüntüdeki miktarı belirlenmektedir. Bu değerler, her gri seviye değerinin χ^2 değerini hesaplamak için kullanılmaktadır. χ^2 uygunluk testiyle bozuk pikseller bulunduktan sonra, bozuk pikselin yeni değerini kestirmek için öklid mesafesinden yararlanılan Gürültü Ayrıcalıklı Süzgeç (GAS) adlı bir süzgeç önermektedirler. GAS' te yöntem şöyle verilmektedir:

Merkezi bozuk piksel olan 3x3 piksel boyutlu pencereler halinde taranan görüntüde bozuk pikselle sağlam pikseller arasındaki öklid uzaklığı d_t , (2.5) ifadesiyle bulunmaktadır. $t= 1,2,3,\dots,s$; s : sağlam piksellerin sayısı; k,l : sağlam piksellerin koordinatlarıdır.

$$d_t = \left| \sqrt{k_t^2 + l_t^2} \right| \quad (2.5)$$

h_t uzaklık ağırlığı, (2.6) eşitliği ile tanımlanmaktadır.

$$h_t = \frac{\sum_{t=1}^s d_t}{d_t} \quad (2.6)$$

Bozuk pikselin yeni değeri v_t , (2.7) ifadesiyle bulunmaktadır. ρ_t : sağlam piksellerin gri seviye değeridir.

$$v_t = \sum_{t=1}^s h_t \rho_t \quad (2.7)$$

3x3 piksel boyutlu pencerede sağlam piksel bulunmadığında merkez pikselin değeri değişmemektedir. Bozuk pikseller düzeltilene kadar bu üç adım yinelenmektedir (Çivicioğlu ve ark., 2004).

Beşdok, 2004'te yaptığı çalışmada gürültü pikselini belirlemek amacıyla AD uygunluk testinden yararlanmışır. Görüntü, 32x32 piksel boyutlu alt görüntülere bölünmektedir. İlgili gri seviyenin her bir alt görüntüdeki miktarı belirlenmektedir. Bu değerler, her gri seviye değerinin AD test değerini hesaplamak için kullanılmaktadır. AD test değeri, 10 ± 1 eşik değerinden küçük pikseller, gürültülü pikseller olarak belirlenmektedir. Gürültülü pikseller yardımıyla üçgenel ağ kurulmaktadır. Ağdaki üçgenlerin köşelerindeki sağlam piksellerin gri seviye değerleri ve koordinatları, Anfis yapısını eğitmek için kullanılmaktadır. Bozuk piksellerin koordinatları ve eğitilmiş Anfis yapısı kullanılarak bozuk piksellerin gri seviye değerleri kestirilmektedir (Beşdok, 2004).

Beşdok, 2004'teki çalışmasında dürtü gürültüsünü belirlemek için Lillietest istatistiksel analiz yöntemini kullanmışır. Gürültülü görüntü, 32x32 piksel boyutlu alt görüntülere bölünmektedir. İlgili gri seviyenin her bir alt görüntüdeki miktarı belirlenmektedir. Bu değerler, her gri seviye değerinin Lillietest istatistik değerini (T) hesaplamak için kullanılmaktadır. T, 0.1 ± 0.05 değerinden küçükse bu gri seviye

değeri, gürültü olarak belirlenmektedir. Gürültü pikselleri belirlendikten sonra üçgensel ağ kurulmaktadır. Üçgenlerin köşelerindeki sağlam piksellerin gri seviye değerleri ve koordinatları, Anfis yapısını eğitmek için kullanılmaktadır. Bozuk piksellerin koordinatları ve eğitilmiş Anfis kullanılarak bozuk piksellerin gri seviye değerleri bulunmaktadır (Beşdok, 2004).

Beşdok ve arkadaşları, 2005'te yaptıkları çalışmalarında, görüntüdeki 155 gri seviye değerli piksellerin gürültü olmadığını Ki-kare uygunluk testiyle belirlemişlerdir (Beşdok ve ark., 2005).

Beşdok ve Yüksel, 2005'te dürtü gürültüsü sezmede Jarque-Bera testinden (JBT) faydalanmışlardır. Görüntü, 32x32 piksel boyutlu alt görüntülere bölünmektedir. İlgili gri seviyenin her bir alt görüntüdeki miktarı belirlenmektedir. Bu değerler, her gri seviye değerinin JBT değerini (ρ) hesaplamak için kullanılmaktadırlar. $10 \leq \rho \leq 12$ aralığında JBT değerine sahip pikseller, gürültülü pikseller olarak belirlenmektedir. Gürültü piksellerinin yeni değerlerini bulmak için, 3x3'lük her bir maskede gürültü pikseli dışındaki komşuların ortanca değeri hesaplanmaktadır. 3x3'lük maskede tüm pikseller, gürültüyse maske boyutu 5x5 yapılmaktadır. Bozulmamış piksellerin gri seviye değerleri değiştirilmemektedir (Beşdok ve Yüksel, 2005).

Beşdok ve arkadaşları, 2005'teki çalışmalarında χ^2 uygunluk testiyle gürültüyü belirledikten sonra üçgensel ağ ve Anfis yapısı kullanılan dairesel poligon tabanlı uyarlamalı bulanık süzgeç (DS) önermişlerdir. Üçgensel ağda, gürültülü pikselin üç sağlam piksel tarafından oluşturulan bir üçgen içerisinde kalması gerekmektedir. Oluşan üçgenler, en olası üçgenlerdir. Üçgenlerin çevrel çemberi içerisinde bir başka nokta bulunmaz. Dayanak noktaları (sağlam pikseller) kümesinde birbirine en yakın konumda bulunan nokta çiftinin oluşturduğu doğru parçası üçgenlemede yer almaktadır. Her bir noktayı kendisine en yakın nokta ile birleştiren doğru parçası, bir üçgen kenarını oluşturmaktadır. Bu süzgeç yapısı; bozulmamış piksellerin gri seviye değerleri ve koordinatlarının, Anfis eğitiminde kullanılarak bozuk piksel değerlerinin onarılması esasına dayanmaktadır (Beşdok ve ark., 2005 a).

Beşdok ve arkadaşları, 2005'teki çalışmalarında dürtü gürültüsünün çok yoğun olduğu görüntülerdeki gürültüyü yok etmeye çalışmışlardır. χ^2 uygunluk testiyle, %90 dürtü gürültülü görüntüdeki gürültü pikselleri belirlenmektedir. Bozulmamış piksellerle üçgensel ağ örülmüş ve en az bir tane bozuk piksel içermeyen üçgenler iptal edilmiştir.

Üçgenlerin köşelerinin gri seviye değerleri ve koordinatlarıyla Anfis yapısı eğitilmektedir. Bozuk piksellerin koordinatları ve eğitilmiş Anfis yapısı yardımıyla bozuk pikselin gri seviye değeri belirlenmektedir (Beşdok ve ark., 2005 b).

Çivicioğlu ve Alçı, 2006'daki çalışmalarındaysa; χ^2 uygunluk testiyle gürültülü pikselleri bulduktan sonra üçgensel ağ oluşturmaktadırlar. Gürültü, doğrusal interpolant tabanlı üçgensel süzgeçle (P-D) yok edilmeye çalışılmaktadır. P-D'nin üçgensel ağdaki herhangi bir üçgen içerisinde bulunan gürültülü pikseller için önerdiği gri değer, (2.8) eşitliğiyle tanımlanmaktadır.

$$g_i = \frac{\sum_{k=1}^3 a_k g_k}{\sum_{k=1}^3 a_k} \quad (2.8)$$

Burada a_k değeri alt-üçgen alanlarına karşılık gelmektedir ve g_i değeri üçgen içerisindeki herhangi bir noktaya ait gri değer hesaplanabilmesine olanak sağlamaktadır. Alt-üçgen, üçgensel ağ oluşturan her bir üçgenin köşeleriyle bu üçgenin içerisindeki bozuk pikseli birleştiren doğruların oluşturduğu üç tane üçgenden biridir (Çivicioğlu ve Alçı, 2006).

Çivicioğlu, 2007'de yayınladığı makalesinde, dürtü gürültülü pikselleri bulmak için Kolmogorov-Smirnov testinden yararlanmaktadır. Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi, Kolmogorov-Smirnov anlamlılık olasılığı (KST) değerini kullanmaktadır. Gri seviye değerlerinin dürtüsel davranışını analiz etmek için görüntü, 32x32 piksel boyutlu alt görüntülere bölünmektedir. İlgili gri seviyenin her bir alt görüntüdeki miktarı belirlenmektedir. Bu değerler, her gri seviye değerinin KST değerini hesaplamak için kullanılmaktadır. KST değeri 0.15 ± 0.05 eşik değerinden küçük olan pikseller, bozuk pikseller olarak belirlenmektedir (Çivicioğlu, 2007 a).

Çivicioğlu, 2007'deki başka çalışmasında, dürtü gürültülü pikselleri bulmak için Kolmogorov-Smirnov testinden yararlandığı, en yakın komşuluktaki piksellere dayalı uyarlamalı bulanık süzgeç (k-UBS) adlı süzgeci geliştirmiştir. Gürültü pikselleri bulduktan sonra, her bir gürültü pikseline en yakın k tane sağlam piksel belirlenmektedir. Bu piksellerin koordinatları ve gri seviye değerleriyle Anfis

eğitilmektedir. Eğitilmiş Anfis yapısı, bozuk pikselin gri seviye değerini kestirmek için kullanılmaktadır (Çivicioğlu, 2007 b).

Kaisar ve arkadaşları, 2008'deki makalelerinde tolerans tabanlı seçici aritmetik ortalama süzgeç yöntemini sunmuşlardır. Bu süzgeçte, ortalama değerle merkez piksel değeri arasındaki fark, tolerans değerden büyük olduğunda merkez piksel, ortalama değerle yer değiştirmektedir. Diğer durumda merkez piksel değeri değişmemektedir (Kaisar ve ark., 2008).

Eksik ve belirsizlik içeren bilgilerin bulunduğu en karmaşık sistemleri tanımlaması özelliğinden dolayı bulanık sistemler, görüntü işleme problemlerine uygulanmaktadır. Bununla birlikte, bulanık sistemlerin gürültü süzücü olarak kullanılması toplam hesaplama süresini artırmaktadır. Bulanık süzgeçler, bulanık küme yapısını temel alarak geliştirilmişlerdir. İlk olarak Jiu, 1996 yılında bulanık çok seviyeli ortanca süzgeç (BÇSOS) adıyla bulanık süzgeç tasarlamıştır. Bu süzgeci tuz ve biber gürültüsünü bastırmak için kullanmıştır (Nachtegael ve ark., 2003).

Kwan, 2002 ve 2003 yıllarında yaptığı çalışmalarda; Gauss, simetrik üçgen ve simetrik olmayan üçgen biçimli bulanık küme temelli bulanık süzgeçleri önermektedir. Bu bulanık kümelerin tepe değerleri, ortanca değer ve ortalama değer olmaktadır. Bulanık kümelerin bu tür çeşitlilik göstermesiyle elde edilen bulanık süzgeçleri şöyle adlandırmaktadır: Ortanca merkezli Gauss (rasgele) bulanık süzgeç (GO), ortanca merkezli simetrik üçgen bulanık süzgeç (ÜO), ortanca merkezli asimetric üçgen bulanık süzgeç (AÜO), ortalama merkezli Gauss (rasgele) bulanık süzgeç (GOr), ortalama merkezli simetrik üçgen bulanık süzgeç (ÜOr), ortalama merkezli asimetric üçgen bulanık süzgeç (AÜOr) (Kwan, 2002). Kwan, 2003 yılında yayınladığı makalede; bulanık süzgeçlerin veriminin, görüntünün özelliklerine bağlı olduğunu belirtmektedir. Ayrıca süzgeçlerin veriminin, benzer özellikteki görüntülerde oldukça istikrarlı olduğundan bahsetmektedir. Düşük (%3), orta (%15) ve yüksek (%30) yoğunlukta dürtü gürültüsü içeren Lena görüntüsüne uygulanan bulanık süzgeçlerin başarımlarını sıralaması farklı olmaktadır. 3x3 komşuluk için verilen sıralama, 5x5 ve 7x7 komşuluk için değişmektedir (Kwan, 2003).

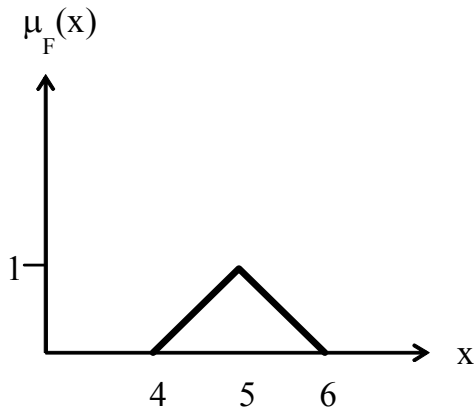
2.1. Bulanık Mantık

Bulanık mantık, 'kesin doğru' ve 'kesin yanlış' kavramları arasındaki 'kısmen doğru' kavramını kullanması nedeniyle ikili mantığın genelleştirilmiş halidir (Kosko ve Isaka, 1993). İkili mantık gerçek dünyanın belirsizliğini anlatmakta yetersizdir (Wilamowski, 1998). Bulanık mantık daha iyi tercihler içerir, yaklaşık insan düşünüşü yeteneğine sahiptir. İnsan beyni düşük hız, ılık su, uzun boy gibi belirsizlikle ve değer yargılarıyla akıl yürütmektedir.

Bulanıklık, bir olayın ne dereceye kadar olduğunu, bir koşulun ne dereceye kadar var olduğunu ölçer. "Sabah hava yüzde 30 serin gibi geliyor" önermesi, hava bir dereceye kadar serin, aynı zamanda da değişen derecelerde ılık veya sıcak demektir.

İkili mantıkta, herhangi bir nesne, bir kümeye aittir ya da değildir. Bunun ortası yoktur: Beş sayısı kesinlikle tek sayılar kümesine aittir ve asla çift sayılar kümesine ait olamaz. Bu tür iki değerli kümelerde bir nesne, hem bir kümeye hem de onun tamamlayıcısı olan kümeye ait olamaz. Bulanık mantıktaysa, elemanlar bulanık kümeye ancak kısmen aittir. Ayrıca aynı anda birden çok kümeye de ait olabilirler (Shihab, 2000). İkili kümelerin sınırları kesin, bulanık kümelerin sınırları ise eğridir ya da giderek yok olmaktadır.

Bulanık küme, her elemanına 0 ve 1 arasında üyelik derecesi atayan üyelik işleviyle karakterize edilmektedir (Zadeh, 1965). Şekil 2.1' de $4 \leq x \leq 6$ elemanlarına sahip F bulanık kümesinin üyelik işlevi gösterilmektedir.



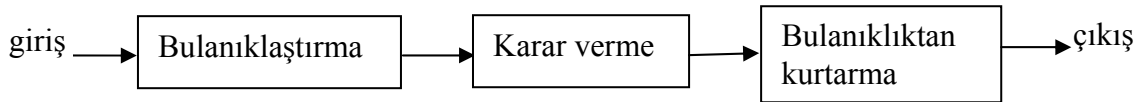
Şekil 2.1. F bulanık kümesine ilişkin üyelik işlevi

Bulanık mantıkta, doğal dildeki kelime ve cümlelerle sözel olarak ifade edilen değişkenler, dilsel değişken olarak adlandırılmaktadır. Örneğin; "yaş" bir dilsel değişken

olup "genç, genç değil, çok genç, oldukça genç ve yaşlı" gibi değerlere sahip olabilmektedir (Zadeh, 1975). Bu değerler, spesifik değerleri vermektten çok bulanık kümeleri belirlemektedir.

Bulanık mantık, girdileri çıktılara – bir bulanık kümeyi bir başkasına - dönüştüren "A ise B'dir" şeklindeki şarta bağlı kurallara dayanmaktadır (Zadeh, 1973). Bulanık kurallar, şart ve eylemden oluşmaktadır. Bulanık mantıkla işleyen bir sistem kurmak için bir uzmandan alınacak bir dizi bulanık mantık kuralına gereksinim vardır. Daha sonraki süreçte; mühendisler, kural ve bulanık kümeleri ayarlamaya çalışmaktadırlar (Kosko ve Isaka, 1993).

Bulanık sistem yapısı, Şekil 2.2' de verilmektedir. Bir bulanık mantık sistemi, bulanık kümeler ve kurallar yardımıyla akıl yürütmekte veya çıkarsama yapmaktadır. Bulanıklaştırma birimi, girişin, giriş değişkenine ait hangi bulanık kümelere hangi üyeliklerle üye olduğunu belirlemektedir. Karar verme biriminde, " A ise B'dir " yapısındaki bulanık kurallar kullanılarak, hangi kuralların hangi üyelik değerleriyle işleyeceği belirlenmektedir. Bu üyelik değerleriyle çıkış bulanık kümeleri derecelendirilip bulanıklıktan kurtarma yöntemiyle çıkış bulunmaktadır. En çok kullanılan bulanıklıktan kurtarma yöntemleri, ağırlık merkezi ve ağırlıklı ortalama hesaplamaktır. İlk yöntemde; kurallarla üyelikleri belirlenmiş çıkış bulanık kümelerinin oluşturduğu alanın ağırlık merkezi, çıkış değerini vermektedir. Daha iyi sonuç vermesine karşılık, hesap yükü çok fazladır. İkinci yöntemde; çıkış bulanık kümeleri, kesin değerlerden oluşmakta olup kümelerin şekilleri birer sivri uca indirgenmektedir. Kurallarla belirlenen üyeliklerle ağırlıklandırılmış kesin değerler toplanıp üyeliklerin toplamına bölünerek, ortalama alınmaktadır. Daha az doğrulukta sonuç vermesine karşılık, hızı yüksektir.



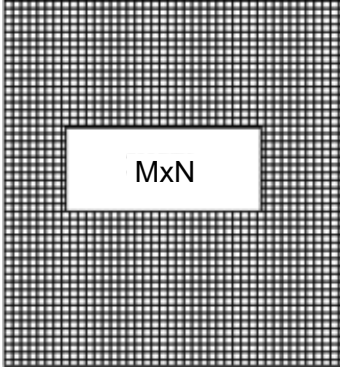
Şekil 2.2 Bulanık sistem

2.2. Görüntü İşlemeyle İlgili Temel Bilgiler

Sayısal görüntü işleme, insanın görüntüyü daha iyi yorumlayabilmesi için görüntünün iyileştirilmesi ve bilgisayarın görüntüyü yorumlayabilmesi için görüntünün analizinin yapılmasıdır (Choi ve Krishnapuram, 1997). Amaç; bir görüntüyü, istenen özelliklere sahip başka bir görüntüye dönüştürmektir. Kullanılan teknikler, probleme bağlı olmaktadır. Gürültülü bir görüntüdeki gürültüyü gidermek, görüntü işlemenin konusuna girmekte olup süzgeçler yardımıyla yapılmaktadır.

2.2.1. Sayısal Görüntü

Bir sayısal görüntü, belirli bir konuma ve değere sahip sonlu sayıda eleman içermektedir. Bu elemanlar; görüntü ögesi veya piksel olarak adlandırılmaktadır. Sayısal görüntü **a**) boyutu (veya toplam piksel sayısı), **b**) içerdiği gri seviyelerin sayısı (veya bir pikseli belirten bit sayısı) ile tanımlanmaktadır. Şekil 2.3'te M tane satır, N tane sütuna sahip görüntünün $M \times N$ tane pikselden oluşan yapısı görülmektedir.



Şekil 2.3. $M \times N$ piksel boyutlu görüntünün piksellerden oluşan yapısı

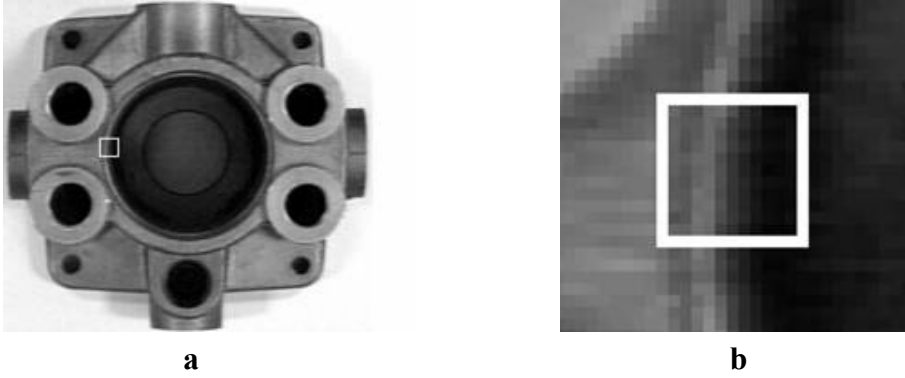
2.2.2. Görüntü Matrisi

Sayısal görüntü, matrisle temsil edilmektedir. Görüntü matrisi, M tane satır ve N tane sütundan oluşmaktadır. Matrisin her bir elemanı, bir piksele karşılık gelmektedir. (i,j) , pikselin koordinatları ve $f(i,j)$, pikselin gri seviye (parlaklık) değeridir ($i=0, \dots, M-1$; $j=0, \dots, N-1$). (2.9) ifadesiyle görüntü matrisinin genel yapısı verilmektedir.

$$f(x,y)= \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Örnek 2.1

Şekil 2.4.a'daki su vanası görüntüsünden alınan 11x11 piksel boyutlu görüntü parçası, Şekil 2.4.b'dedir. Şekil 2.4.c'de bu görüntü parçasının görüntü matrisi yer almaktadır (Boyraz, <http://www.teknohaber.net/endüstriyel.htm>, 9.12.2006).



105	86	81	106	112	80	46	34	14	9	9
97	88	90	105	96	61	46	30	17	14	16
100	84	90	106	84	58	37	25	12	10	17
96	81	96	106	89	61	44	26	14	14	18
98	93	105	106	76	53	34	18	12	10	14
96	86	100	105	80	53	34	21	6	9	14
89	84	100	110	80	53	41	24	16	14	14
90	89	112	106	76	53	38	21	10	9	12
97	89	108	113	81	53	37	24	12	9	10
80	85	114	109	76	56	41	22	14	10	17
100	98	113	105	65	48	30	16	6	6	9

c

Şekil 2.4. a) Görüntü (su vanası) b) a'da beyaz çerçeveye işaretli görüntü parçasının büyütülmüş hali c) b'deki görüntü parçasının görüntü matrisi

2.2.3. Görüntü Çözünürlüğü

Görüntü çözünürlüğü, görüntüdeki ayrıntı olarak tanımlanmaktadır. Görüntü çözünürlüğünü, **a)** görüntü boyutu (görüntüdeki toplam piksel sayısı) ve **b)** görüntüde yer alan gri seviye değerleri (bir pikseli temsil eden bit sayısı) belirlemektedir.

a) Görüntü boyutu arttıkça, pikseller küçülmektedir ve daha net görüntü oluşmaktadır. Çünkü, hassasiyet artmaktadır.

b) Gri seviyelerin toplam sayısı (gri ölçek, L); 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 olabilmektedir. $l=f(x,y)$ gri seviye değeri, $[0,L-1]$ aralığındadır. Örneğin, $L=256$ iken tam aralık, $0 \leq l \leq 255$ tir. Bu durumda gri değerler, 8 bitle gösterilmektedir. $[0,255]$ aralığındaki her bir tam sayı değeri, bir gri seviyesinin yoğunluk değerine denk düşmektedir. 0 parlaklık değeri, siyaha; 255 parlaklık değeri, beyaza karşılıktır.

2.2.4. Bir Pikselin Komşuları

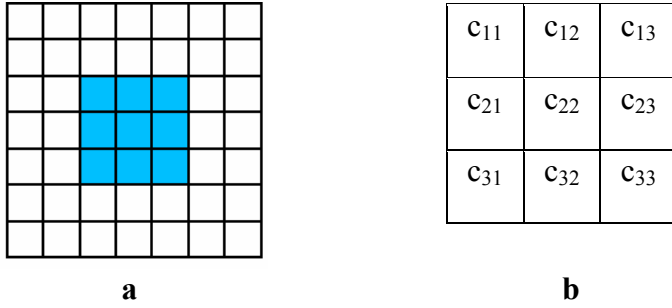
(x,y) koordinatlı pikselin yatay komşularının koordinatları $(x,y-1), (x,y+1)$; dikey komşularının koordinatları $(x-1,y), (x+1,y)$ ve köşegen komşularının koordinatları $(x-1,y-1), (x-1,y+1), (x+1,y-1), (x+1,y+1)$ dir.

$(x-1,y-1)$	$(x-1,y)$	$(x-1,y+1)$
$(x,y-1)$	(x,y)	$(x,y+1)$
$(x+1,y-1)$	$(x+1,y)$	$(x+1,y+1)$

Şekil 2.5. (x,y) koordinatlı pikselin komşuları

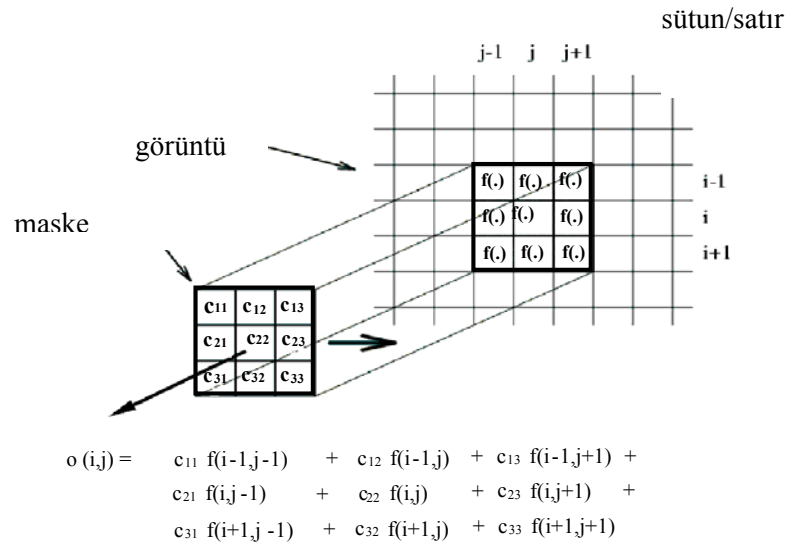
2.2.5. Maske (Süzgeç) ve Maskeleme (Süzgeçleme)

Görüntü matrisini oluşturan alt matrislerin boyutuyla aynı boyutlu matrisle süzgeç, maske, çekirdek veya pencere denir (Barner, K.E., Arce, G.R, 2004). Süzgeç boyutları, $(2K+1) \times (2K+1)$ ($K=1,2,3,\dots,N$) ifadesiyle 3×3 , 5×5 , 7×7 , 9×9 , 11×11 ve 13×13 olarak elde edilebilmektedirler. Şekil 2.6.a'da 3×3 'lük maske, Şekil 2.6.b'de ise maske katsayıları görülmektedir.



Şekil 2.6. a) 3x3 piksel boyutlu (8 komşulu) maske **b)** 3x3' lük maskenin katsayıları

Şekil 2.7'de gösterilen maskeleme veya süzgeçleme işlemi, bir görüntü üzerinde maskeyi soldan sağa ilerleyerek aşağıya doğru pikselden piksele hareket ettirmektir. Bu şekilde $K=1$ seçilerek süzgeç penceresinin boyutu, 3x3 olarak belirlenmiştir. Doğrusal süzgeçlemeye bir maskenin her bir elemanının, görüntüde karşılık geldiği piksel değeriyle çarpılarak toplanmasıdır. Bu toplamın sonucu, merkez pikselin yeni değeridir. Süzgeçlenmiş diğer piksel değerleri, maskenin piksel piksel kaydırılmasıyla benzer biçimde bulunmaktadır (Gonzalez ve Wood, 2002).



Şekil 2.7. Doğrusal süzgeçleme

Bir görüntü, frekans düzleminde veya uzaysal düzlemde süzgeçlenebilmektedir. İlki; görüntünün, frekans düzlemine aktarıldıktan sonra frekans süzgeç işleviyle çarpılmasını ve sonucun uzaysal düzleme aktarılmasını içermektedir. Uzaysal düzlemde

buna karşı düşen işlem, giriş görüntüsüyle süzgeç işlevinin katlamasıdır (Fisher ve ark., 2009). Bir görüntü ve bir maskenin katlaması olarak tanımlanan bu işlem, doğrusal süzgeçleme olarak adlandırılmaktadır (Gonzalez ve Woods, 2002). Katlama içeren görüntü işleme yöntemleri; yumuşatma, keskinleştirme, nokta ve kenar bulmadır. Örnek 2.2’de, görüntünün Şekil 2.9’daki süzgeçle keskinleştirilmesi gösterilmektedir.

Süzgeçleme sonrası, giriş görüntüsüyle aynı boyutta bir çıkış görüntüsü elde edebilmek için giriş görüntüsünü K görüntü elemanı kalınlığındaki bir çerçeve ile genişletmek gerekmektedir. Genişletmede kullanılan yöntemler; görüntünün en dışındaki piksellerin yinelenmesiyle oluşan çerçeve ve 0 veya (L-1) değerli piksellerden oluşan çerçeve eklenmesidir. Örnek 2.2’deki görüntüye 1 görüntü elemanı kalınlığında bir çerçevenin eklenmesi ile giriş görüntüsünün boyutu 9x9 olacaktır.

Örnek 2.2

Şekil 2.8’deki 8x8 piksel boyutlu görüntüyü oluşturan piksellerin gri değerleri, Çizelge 2.1’de verilmektedir.



Şekil 2.8. 8x8 piksel boyutlu görüntü

Şekil 2.9’daki maskeyle Şekil 2.8’deki görüntüyü maskelediğimizde gölgelenmiş alt matrisin merkezindeki pikselin (117) süzgeçlenmiş değeri şöyle hesaplanmaktadır: $-116-116+5*117-110-107=136$. Süzgeçlenmiş görüntü, Şekil 2.10’da görülmektedir.

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

Şekil 2.9. Süzgeç

Çizelge 2.1. Şekil 2.8'deki görüntüyü oluşturan piksellerin gri değerleri

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	92	97	101	101	102	105	108	107
1	93	96	99	101	106	111	112	109
2	92	96	101	104	109	112	110	106
3	101	104	111	113	116	116	110	104
4	110	110	113	113	116	117	110	106
5	105	106	111	107	104	107	107	113
6	93	98	107	102	96	99	102	113
7	85	87	96	95	94	97	94	99



Şekil 2.10. Süzgeçlenmiş görüntü

Doğrusal olmayan süzgeçleme, süzgecin altındaki görüntü parçasındaki piksellerin sıralanmasına dayalıdır. Merkez piksel değeri, sıralamayla belirlenen değerle yer değiştirmektedir. Gürültünün azaltılması veya giderilmesi, doğrusal olmayan süzgeçlemeyle sağlanmaktadır. Ortanca süzgeç ve çeşitleri, minimum süzgeç, maksimum süzgeç ve orta nokta süzgeci bu tür süzgeçlere örnektir (Young ve ark., 1998; Toprak, 2006).

2.2.6. Gürültü

Gürültü, sayısal bilgilerin elde edilmesi aşamasında ortamdan, aletlerden ve kişilerden kaynaklanan, işareti bozucu etkilerdir. Gürültü, atmosferik türbülans ve

hareket gibi elverişsiz dış ortam şartlarından kaynaklanabileceği gibi algılayıcı gürültüsü, kuantalama ve ısısal gürültü gibi iç ortam şartlarından da oluşabilmektedir. Gürültü; görüntüyü elde ederken, kopyalarken, tarayıcıdan geçirirken, iletirken, depolarken oluşabilmektedir. Diğer deyişle; görüntünün nasıl oluşturulduğuna bağlı olarak gürültü oluşma şekilleri değişmektedir. Örneğin; görüntü, sayısal biçimde doğrudan elde ediliyorsa, veri toplama mekanizması (algılayıcı) gürültü oluşturabilmektedir. Eğer; görüntü, bir fotoğraftan taranıyorsa resimdeki bir zarar, gürültü oluşturabilmektedir veya tarayıcının kendisi gürültü oluşturabilmektedir. Görüntü verisinin iletimi sırasında gürültü oluşabilmektedir.

2.2.6.1. Dürtü (Tuz ve Biber, Darbe) Gürültüsü

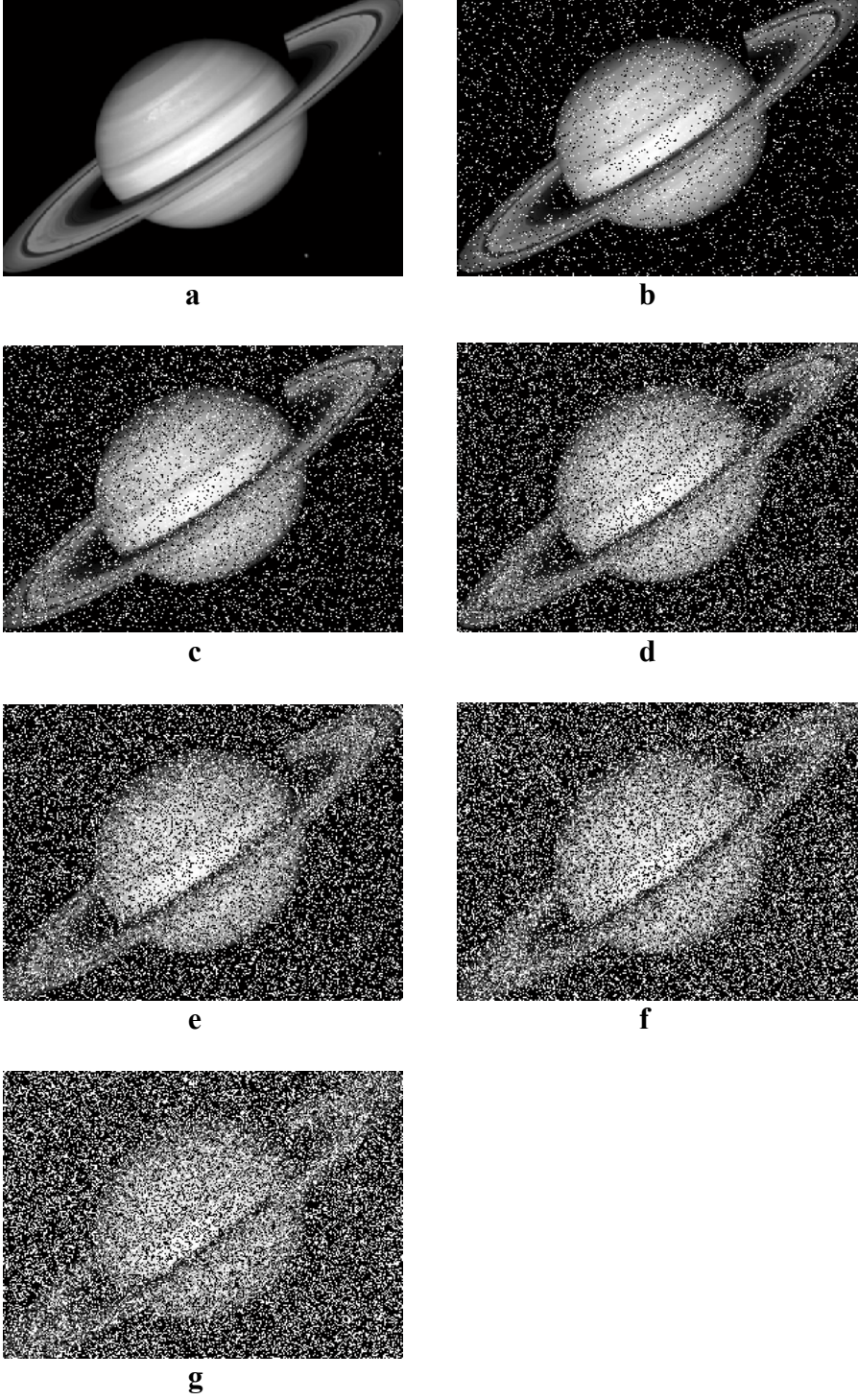
Dürtü gürültüsü, tuz ve biber veya darbe gürültüsü olarak adlandırılmaktadır. 8 bitle temsil edilen bir görüntü için gürültü pikselleri, tuz ve biber görünümü olup biber gürültüsünün değeri 0, tuz gürültüsünün değeri 255'tir (Teuber, 1993). Tuz ve biber gürültüsünde görüntü pikselleri eşit olasılıkla 0 ve 255 değerleriyle bozulmaktadır. $O_{i,j}$, i,j noktasındaki pikselin gri seviye değeri, $X_{i,j}$, gürültülü görüntüdeki piksel değeri ve p , gürültü yoğunluğu olmak üzere tuz ve biber gürültüsünün olasılık yoğunluk fonksiyonu $\rho(x)$, (2.10) ifadesiyle verilmektedir (Vijaykumar ve ark., 2009).

$$\rho(x) = \begin{cases} p/2, & x = 0 \quad \text{için} \\ 1-p, & x = O_{i,j} \quad \text{için} \\ p/2, & x = 255 \quad \text{için} \end{cases} \quad (2.10)$$

Gürültü yoğunluğuyla ifade edilen tuz ve biber gürültüsü, görüntü algılayıcılarındaki piksel elemanları normal çalışmadığında, atmosferik türbülans varken, kuvvetli elektromanyetik alan oluştuğunda veya veri iletiminde hatalar oluştuğunda meydana gelmektedir (Fisher ve ark., 2000).

Örnek 2.3

Şekil 2.11'de asıl görüntü ve farklı oranlarda tuz ve biber gürültüsü eklenmiş Satürn görüntüleri görülmektedir.



Şekil 2.11. a) Asıl görüntü b) %10 c) %20 d) %30 e) %40 f) %50 g) %60 yoğunluğunda tuz ve biber gürültüsü eklenmiş Satürn görüntüsü

2.2.7. Gürültüyü Yok Etmek İçin Kullanılan Süzgeçler

Görüntüdeki gürültüyü giderme, sayısal görüntü işlemenin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Görüntüdeki gürültüyü süzmek için süzgeçlerden yararlanılmaktadır.

2.2.7.1. Ortalama Süzgeç (OrS)

3x3 piksel boyutlu OrS, şekil 2.12.a'da; 5x5 piksel boyutlu OrS, şekil 2.12.b'de görülmektedir.

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

a

1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25

b

Şekil 2.12. a) 3x3 piksel boyutlu OrS b) 5x5 piksel boyutlu OrS

Gürültülü pikselin etkisi, komşu piksellerin gri seviye değerleri yardımıyla ortalama alınarak azaltılmaya çalışılmaktadır (Pham, 2001).

Gürültü miktarı arttığında, maske boyutu artırılarak gürültü giderilmeye çalışılmaktadır. Ama; küçük boyutlu maskeler arka arkaya uygulanarak, büyük boyutlu maske kullanımından daha iyi sonuçlar elde edilmektedir (Akar, 2006).

Süzgeç, gürültüden etkilenip etkilenmediklerine bakılmadan tüm piksellere uygulanmaktadır. Ayrıca, maske boyutu arttıkça bulanıklık artmaktadır. Bu özellikler, OrS'in kötü özellikleridir.

Örnek 2.4

Şekil 2.13'teki görüntü parçasının ortasındaki 125 gri seviye değerindeki pikselin, OrS sonucu $\frac{1}{9}(30+100+25+126+125+52+44+200+136)=93$ olarak bulunmaktadır.

30	100	25
126	125	52
44	200	136

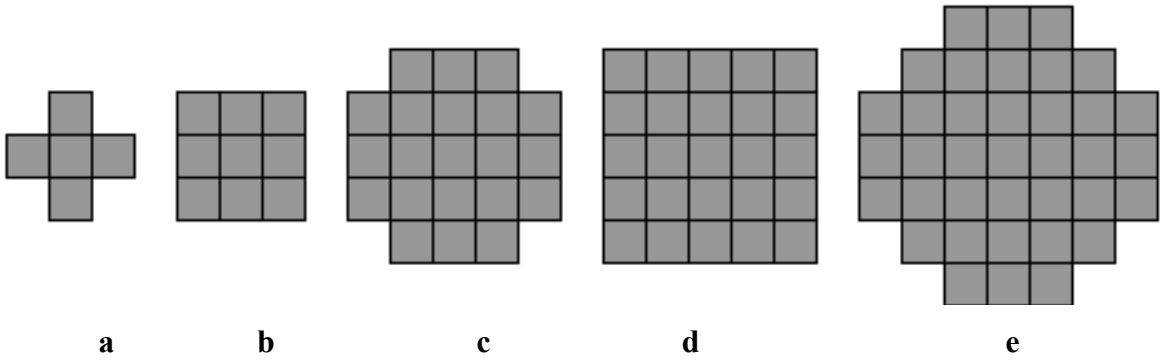
Şekil 2.13. Görüntü alt matrisi

2.2.7.2. Ortanca (Medyan, Orta Değer) Süzgeç (OS)

Ortanca süzgeç (OS), süzgeç penceresindeki merkez pikselin değerini, pencere elemanlarının ortanca değeriyle değiştirmektedir. Maske elemanları küçükten büyüğe sıralanarak tam ortadaki eleman, ortanca değer olarak belirlenmektedir (Tukey, 1974).

OS, dürtü gürültüsünün bastırılmasında kullanılmaktadır. Çünkü; OS, OrS'in tersine görüntü matrisindeki uç değerlerden etkilenmemektedir (Low, 1991).

Şekil 2.14'te, ortanca süzgeçlemede kullanılan komşuluk örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.14. a) + biçimli en yakın dört komşuluk b) 9 piksel içeren 3x3 kare komşuluk c) 21 piksel içeren 5x5 sekizgen (oktagon) komşuluk d) 25 piksel içeren 5x5 kare komşuluk e) 37 piksel içeren 7x7 sekizgen komşuluk

Örnek 2.5

Şekil 2.15'te 3x3'lük maske elemanlarına ilişkin ortanca değer bulunması gösterilmektedir. Eski piksel değeri 148 iken OS kullanılarak elde edilen yeni piksel değeri 77 olmaktadır.

11	8	14	24	14	24
30	100	25	69	45	20
125	125	52	1	0	29
44	200	136	148	98	33
9	16	86	77	55	213
20	65	99	126	255	0
2	6	13	13	99	66

a

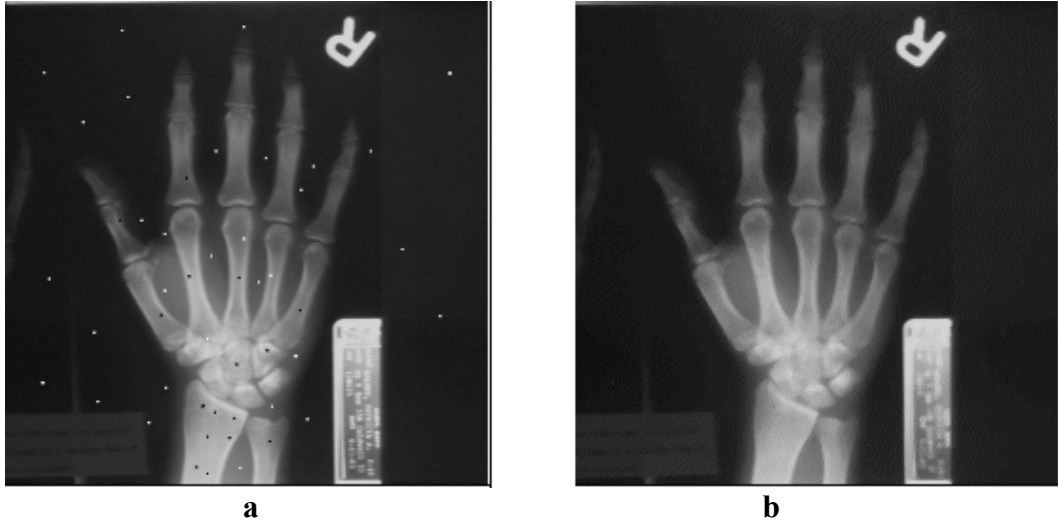
0	1	52	55	77	86	98	136	148
---	---	----	----	----	----	----	-----	-----

b

Şekil 2.15. a) Görüntü matrisi ve 3x3'lük maske b) Ortanca değer bulunması

Örnek 2.6

Şekil 2.16'da %1 tuz ve biber gürültülü x ışını görüntüsüne 3x3'lük OS uygulandıktan sonra elde edilen görüntü gösterilmektedir.

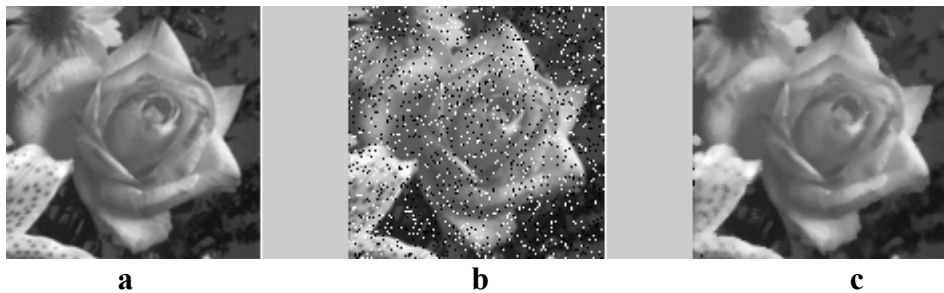


Şekil 2.16. a) %1 tuz ve biber gürültülü görüntü b) 3x3'lük OS'le süzgeçlenmiş görüntü

OS, gürültü giderme başarımı sağlamasına rağmen, düşük gürültü yoğunluklarında bile ince hatları yok etmekte, kenarları bozmakta ve görüntüyü bulanıklaştırmaktadır. Örnek 2.7'de bu etki görülmektedir.

Örnek 2.7

Şekil 2.17'de %10 tuz ve biber gürültüsü eklenmiş görüntüye 3x3'lük OS uygulandıktan sonra elde edilen görüntü gösterilmektedir.

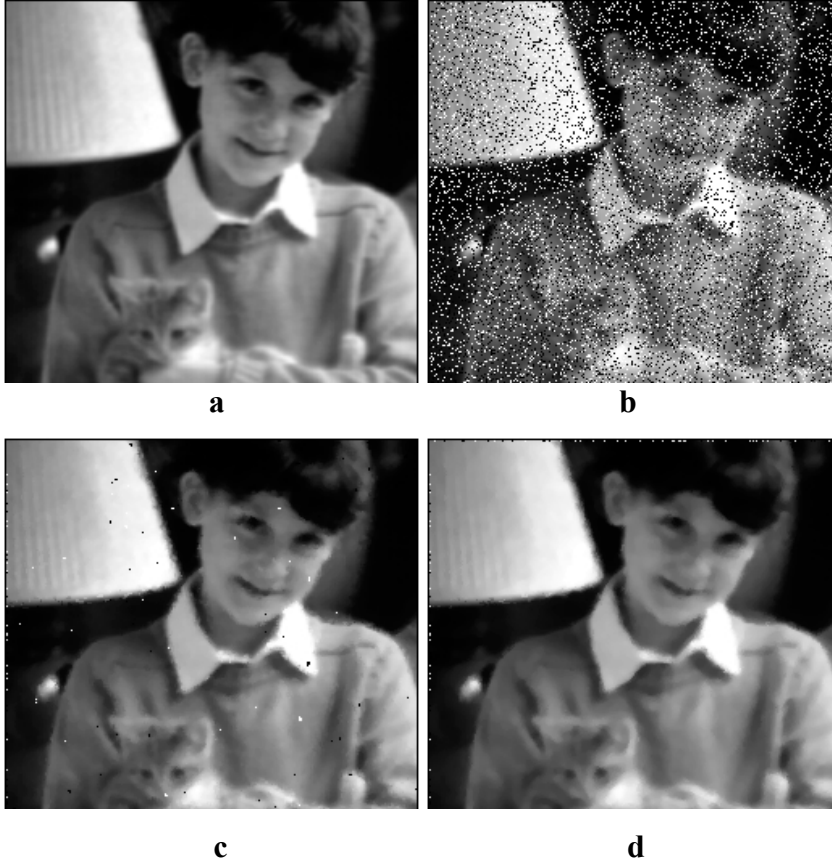


Şekil 2.17. a) Asıl görüntü b) %10 tuz ve biber gürültülü görüntü c) 3x3 piksel boyutlu OS sonucu

OS, gürültü yoğunluğu %20 ve %20'den daha fazla olan gürültülü görüntülerde iyi sonuç vermemektedir. Bu durum, Örnek 2.8'de görülmektedir.

Örnek 2.8

Şekil 2.18.a'daki görüntüye %20 oranında tuz ve biber gürültüsü eklenmiştir (Şekil 2.18.b). Gürültülü görüntüye uygulanan ortanca süzgeçleme türlerinin sonuçları, Şekil 2.18.c ve d'de verilmektedir. 3x3'lük kare komşuluk kullanıldığında gürültünün tamamen yok olmadığı görülmektedir. 5x5'lik oktagonal komşuluk kullanıldığında gürültünün yok olduğu, aynı zamanda bulanıklık da oluştuğu görülmektedir.



Şekil 2.18. a) Asıl görüntü b) %20 tuz ve biber gürültülü görüntü, c) 3x3'lük kare komşuluk kullanan OS sonucu d) 5x5'lik sekizgen komşuluk kullanan OS sonucu (Russ, 2002)

2.2.7.3. Merkez Ağırlıklı Ortanca Süzgeç (MAOS)

Süzgeç penceresinin merkez pikseline ağırlık veren OS türüdür. Ağırlık değerine göre merkezdeki piksel yinelenerek ortancayı bulmak üzere sıralamaya konmaktadır. $k=1$ iken (klasik) OS gerçekleşmektedir. $k=2$ iken merkez piksel, sıralamaya bir kez daha eklenmektedir. $k=3$ için merkez piksel, sıralamaya 2 kez eklenmektedir. 3x3 komşuluk için $k \geq 9$ olduğunda süzgeç, birim süzgeç halini almaktadır. Çünkü, merkez

pikselin sekiz ve daha çok kez yinelenmesiyle oluşan sıralamanın ortanca değeri, merkez piksel olmaktadır. Ağırlıklandırma yaklaşımı, gürültü gidermedeki başarıyı artırmakta ve görüntüdeki bulanıklık etkisini azaltmaktadır (Ko ve Lee, 1991).

2.2.7.4. Anahtarlamalı Ortanca Süzgeç (AnOS)

OS ve MAOS, gürültülü ve gürültüsüz piksele uygulanmaktadır. Bundan dolayı, gürültüsüz pikseller bozularak görüntü bulanıklaşmaktadır. Bu amaçla, eşik değeri yardımıyla gürültü piksellerini saptamaya çalışan yönteme sahip AnOS geliştirilmiştir (Sun ve Neuvo, 1994).

Bu süzgeç türünde, süzgeç penceresinin merkez piksel değeriyle ortanca değer karşılaştırılmaktadır. Mutlak fark, bir eşik değerinden büyükse, merkez pikselin yeni değeri, ortanca değer olmaktadır. Mutlak fark, eşik değerinden küçükse, merkez pikselin değeri değişmemektedir. AnOS, bu özelliğiyle OS'ten daha iyi sonuçlar vermektedir. Ancak, gürültü bulmada kullanılan eşik değer, sezgisel olduğu için süzgeç başarımlı sınırlı olabilmektedir.

2.2.7.5. Üç Durumlu Ortanca Süzgeç (ÜDOS)

ÜDOS, AnOS çeşididir. Bu süzgecin çıkışı; gürültü miktarına bağlı olarak birim süzgeç, OS, MAOS çıkışlarından biridir (Chen ve ark., 1999). Bu durum, (2.11) eşitliğiyle verilmektedir.

$$Y_{ij}^{\text{ÜDO}} = \begin{cases} X_{ij} & T \geq d_1; \\ Y_{ij}^{\text{MAO}} & d_2 \leq T < d_1; \\ Y_{ij}^{\text{O}} & T < d_2 \end{cases} \quad (2.11)$$

X_{ij} , merkez piksel değeri; T , eşik değeri; Y_{ij}^{O} , OS çıkışı; Y_{ij}^{MAO} , MAOS çıkışı; $Y_{ij}^{\text{ÜDO}}$, ÜDOS çıkışıdır. d_1 , merkez piksel değeriyle OS çıkışı arasındaki farkın mutlak değeri ve d_2 , merkez pikselle MAOS çıkışı arasındaki farkın mutlak değeri olup (2.12) ve (2.13) eşitlikleriyle verilmektedir.

$$d_1 = |X_{ij} - Y_{ij}^O| \quad (2.12)$$

$$d_2 = |X_{ij} - Y_{ij}^{MAO}| \quad (2.13)$$

MAOS'te ağırlık değerinin artmasıyla elde edilen ortanca değer, gitgide küçülmektedir. Bu yüzden, $d_2 \leq d_1$ ' dir.

İşlem yükü artmasına rağmen bu süzgeç, OS ve AnOS'lere göre daha başarılıdır.

2.2.7.6. Çok Durumlu Süzgeç (ÇDOS)

Bu süzgeçleme işlemi; birim süzgeç, OS ve farklı merkez ağırlıklarına sahip birden fazla MAOS'ten oluşmaktadır (Chen ve Wu, 2000 a). OS'in eksikliği, MAOS kullanılarak giderilmeye çalışılmaktadır (Chen ve Wu, 2001).

2.3. Bulanık Süzgeçler

Gürültülü görüntüden gürültüyü kaldırırken, kenarları ve ayrıntıları koruma konusunda doğrusal olmayan yöntemler, doğrusal yöntemlere göre daha iyi sonuç vermektedirler (Forero ve Delgado, 2003). OS, orta değer süzgeç, maksimum süzgeç ve minimum süzgeç gibi doğrusal olmayan süzgeçlerden başka bulanık mantık tabanlı doğrusal olmayan süzgeçler mevcuttur (Russo ve Ramponi, 1996). Bulanık mantık temelli sistemler, gürültünün bastırılmasında geleneksel sistemlere göre daha iyi sonuç vermektedirler (Güllü ve Ertürk, 2003).

Bulanık sistemler, eksik ve yetersiz bilgiyle işlem yapabilmektedirler. Bu yüzden, eksik ve yetersiz bilgiye sahip gürültülü görüntüdeki, gürültüyü gidermek için bulanık mantıktan yararlanılmaktadır. Bulanık süzgeçler, bulanık küme ve bulanık 'eğer ise' kuralları yardımıyla bulanık akıl yürütmeyi kullandığı için bulanık mantık yapısının sağladığı faydaları içermektedirler. Bulanık kümelerin standart ikili mantıktan uzak yapısı, dürtü gürültülü pikselin yeni değerini bulmada üstünlük sağlamaktadır.

Birçok görüntü işleme uygulamasında uzman bilgisi kullanılmaktadır. "A ise B'dir" kuralları biçimindeki uzman bilgisinden yararlanmak, bulanık mantığın yapısında vardır. Bu yüzden, bulanık süzgeç kullanmak avantaj sağlamaktadır.

2.3.1. Bulanık Çok Seviyeli Ortanca Süzgeç (BÇSOS)

BÇSOS, Jiu J.Y. tarafından dürtü gürültüsünü yok etmek için ortaya konmuştur. BÇSOS, bulanık kurallarla geliştirilmiş çok seviyeli süzgeç (ÇSOS) fikrine dayanmaktadır (Nachtegael ve ark., 2003). ÇSOS, aşağıdaki gibi tasarlanmaktadır.

$W(x,y)$, merkezi (x,y) koordinatlı $(2k+1) \times (2k+1)$ boyutlu kare bir pencere olsun. Bu pencerenin dört alt penceresi (2.14) eşitliğinde verilmektedir. Örneğin, $k=1$ iken 3×3 'lük kare pencere için $W_1(x,y)$ 'nin elemanları, orta satırdaki piksellerdir.

$W_2(x,y)$, sol üst köşeden sağ alt köşeye inen hat üzerindeki pikselleri içeren alt penceredir. $W_3(x,y)$, orta sütundaki elemanlardan oluşmaktadır. $W_4(x,y)$ ise sağ üst köşeden sol alt köşeye inen hat üzerindeki pikselleri içermektedir.

$$\begin{aligned}
 W_1(x,y) &= q(x,y+j), & -k \leq j \leq k \\
 W_2(x,y) &= q(x+j,y+j), & -k \leq j \leq k \\
 W_3(x,y) &= q(x+j,y), & -k \leq j \leq k \\
 W_4(x,y) &= q(x+j,y-j), & -k \leq j \leq k
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

Her alt pencerenin ortanca değeri, $i=1,2,3,4$ için $med_i(x,y)$ olsun. Ortanca değerlerin en büyüğü $med_{\max}(x,y)$ ve en küçüğü $med_{\min}(x,y)$, (2.15)'te verilmektedir.

$$\begin{aligned}
 med_{\max}(x,y) &= \max_{i=1}^4 med_i(x,y), \\
 med_{\min}(x,y) &= \min_{i=1}^4 med_i(x,y)
 \end{aligned} \tag{2.15}$$

ÇSOS'in çıkışı, (2.16) eşitliğinde verilmektedir.

$$r(x,y) = med(med_{\max}(x,y), med_{\min}(x,y), q(x,y)) \tag{2.16}$$

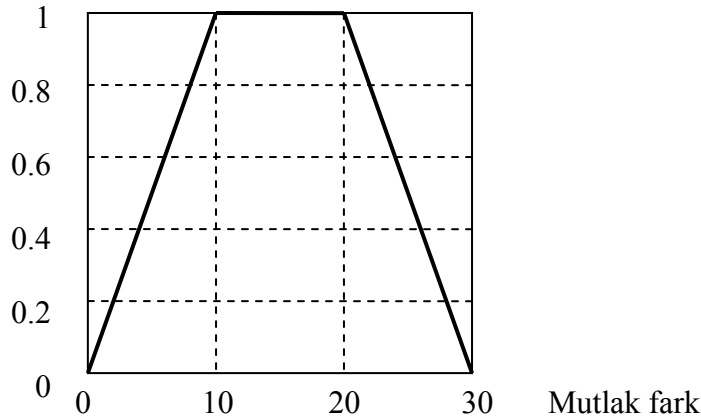
BÇSOS, bulanık akıl yürütme kullanılarak geliştirilmiştir. $r(x,y)$ bulanık süzgeç çıkışını hesaplamak için, C (ortanca bulanık güvenilirlik işlevi) ve $s(x,y)$ çıkış işlevi kullanılmaktadır. Her bir alt pencerenin ortancasının güvenilirliğini bulmak için; alt penceredeki her bir pikselle, o alt pencerenin ortanca değeri arasındaki mutlak farka bakılmaktadır.

Her bir alt pencerenin elemanı w_{ij} ($i=1,\dots,4$, $-k \leq j \leq k$) olmak üzere C 'yi bulmak için aşağıdaki bulanık kural biçimli kriterler kullanılmaktadır.

1. Eğer, farklardan en az biri çok büyükse (t eşik değerinden büyükse) o zaman alt pencerenin ortanca değerinin güvenilirliği çok düşük olmalıdır. $L=256$ için Jiu tarafından önerilen eşik değer, $30 \leq j \leq 40$ aralığındadır.
2. Eğer, farklardan en az biri sıfıra yakın ($L=256$ için 5'ten az) veya sıfır ise alt pencerenin ortanca değerinin güvenilirliği çok düşük olmalıdır.
3. Eğer, tüm farklar orta değerde ise o zaman güvenilirlik, çok büyük olmalıdır.

C , farklı biçimlerde olabilmektedir. Jiu tarafından kullanılan işlev, Şekil 2.19'da gösterilmektedir. Şekil 2.19'daki bulanık işlev, her bir alt pencerenin ortanca değerinin güvenilirliğini bulanıklaştırmak için kullanılmaktadır.

Güvenilirlik



Şekil 2.19. Güvenilirlik işlevi

C kullanılarak her alt pencerenin $s_i(x,y)$ işlevi (2.17) ile bulunabilmektedir.

$$s_i(x,y) = \sum_{j=k-1}^{k+1} C_{\text{med}}(|\text{med}_i - w_{ij}|) \quad i=1,\dots,4 \quad (2.17)$$

BÇSOS çıkışı, (2.18) eşitliğiyle verilmektedir. $s_{\text{max}1}(x,y)$ ve $s_{\text{max}2}(x,y)$, en büyük iki $s_i(x,y)$ değerleridir.

$$r(x,y) = \text{med} [\text{med}_{\text{max}}(x,y), \text{med}_{\text{min}}(x,y), q(x,y), s_{\text{max}1}(x,y), s_{\text{max}2}(x,y)] \quad (2.18)$$

$k=1$ iken 3×3 'lük bir pencere için BÇSOS çıkışı, Örnek 2.9'da hesaplanmaktadır.

Örnek 2.9

Bir 3×3 boyutlu pencere, Şekil 2.20'de verilmektedir.

148	138	151
148	0	155
149	149	169

Şekil 2.20. 3×3 boyutlu penceredeki gri seviye değerleri

$W_1(x,y)$ alt penceresinin elemanları: 148, 0, 155

$W_2(x,y)$ alt penceresinin elemanları: 148, 0, 169

$W_3(x,y)$ alt penceresinin elemanları: 138, 0, 149

$W_4(x,y)$ alt penceresinin elemanları: 151, 0, 149

Her bir alt pencerenin ortanca değeri şöyle bulunmaktadır:

$\text{med}_1(x,y)=148$, $\text{med}_2(x,y)=148$, $\text{med}_3(x,y)=138$, $\text{med}_4(x,y)=149$.

En büyük ve en küçük ortanca değerler, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$\text{med}_{\max}(x,y)=149$, $\text{med}_{\min}(x,y)=138$

Bu verilerle elde edilen ÇSOS çıkışı, $r(x,y)$ ise şöyle hesaplanmaktadır:

$r(x,y)=\text{med}(149,138,0)=138$

Her alt pencere için, Şekil 2.20'deki güvenilirlik işleviyle elde edilen $s_i(x,y)$ işlevinin değerleri (2.13) eşitliğiyle bulunmaktadır:

$$s_1(x,y) = C_{\text{med}}(|\text{med}_1 - w_{10}|) + C_{\text{med}}(|\text{med}_1 - w_{11}|) + C_{\text{med}}(|\text{med}_1 - w_{12}|) \\ = 0 (|148 - 148|) + 0 (|148 - 0|) + 0.7 (|148 - 155|) = 4.9$$

$$s_2(x,y) = C_{\text{med}}(|\text{med}_2 - w_{20}|) + C_{\text{med}}(|\text{med}_2 - w_{21}|) + C_{\text{med}}(|\text{med}_2 - w_{22}|) \\ = 0 (|148 - 148|) + 0 (|148 - 0|) + 0.9 (|148 - 169|) = 18.9$$

$$s_3(x,y) = C_{\text{med}}(|\text{med}_3 - w_{30}|) + C_{\text{med}}(|\text{med}_3 - w_{31}|) + C_{\text{med}}(|\text{med}_3 - w_{32}|) \\ = 0 (|138 - 138|) + 0 (|138 - 0|) + 1 (|138 - 149|) = 11$$

$$s_4(x,y) = C_{\text{med}}(|\text{med}_4 - w_{40}|) + C_{\text{med}}(|\text{med}_4 - w_{41}|) + C_{\text{med}}(|\text{med}_4 - w_{42}|) \\ = 0.2 (|149 - 151|) + 0 (|149 - 0|) + 0.7 (|149 - 149|) = 0.4$$

$s_{\max 1}(x,y)=18.9$ ve $s_{\max 2}(x,y)=11$

BÇSOS çıkışı, (2.18) eşitliğiyle aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$r(x,y)=\text{med}[149, 138, 0, 18.9, 11]=18.9=19$

BÇSOS'le, biber gürültülü pikselin yeni gri seviye değeri, 19 olarak bulunmaktadır.

2.3.2. Genel Pencere İşlevine Dayalı Bulanık Süzgeçler

Bulanık süzgeç çıkışı $y(i,j)$, (2.19) eşitliğiyle verilmektedir. $F[x(i,j)]$, genel pencere işlevi ve A , pencere alanıdır (Kwan ve Cai, 2002).

$$y(i,j) = \frac{\sum_{(r,s) \in A} F[x(i+r, j+s)] \cdot x(i+r, j+s)}{\sum_{(r,s) \in A} F[x(i+r, j+s)]} \quad (2.19)$$

$N \times N$ boyutlu kare pencereye ait r ve s değerlerinin aralığı, $-R \leq r \leq R$ ve $-S \leq s \leq S$ olup $N=2R+1=2S+1$ olmaktadır. Farklı pencere işlevleri tanımlanmasıyla altı tane bulanık süzgeç elde edilmektedir (Kwan, 2003). Bu bulanık süzgeçler,

1. Ortanca merkezli Gauss (rasgele) bulanık süzgeç (GO)
2. Ortanca merkezli simetrik üçgen bulanık süzgeç (ÜO)
3. Ortanca merkezli asimetrik üçgen bulanık süzgeç (AÜO)
4. Ortalama merkezli Gauss (rasgele) bulanık süzgeç (GOr)
5. Ortalama merkezli simetrik üçgen bulanık süzgeç (ÜOr)
6. Ortalama merkezli asimetrik üçgen bulanık süzgeç (AÜOr)

OS ve OrS, bulanık süzgeçlerin özel durumları olarak düşünülmektedir. Sekiz tane süzgecin tanımları, aşağıda verilmektedir.

2.3.2.1. Ortanca (Medyan) Süzgeç (OS)

OS kullanıldığında; pencere işlevi, (2.20) eşitliğiyle verilmektedir.

$$F_O[x(i+r, j+s)] = \begin{cases} 1, & x(i+r, j+s) = x_{med}(i,j) \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.20)$$

Böylece, pencerenin merkezindeki pikselin çıkış değeri $y(i,j)$, $x(i+r,j+s)$ giriş değerlerinin ortanca değeri $x_{med}(i,j)$ 'dir.

Örnek 2.10'da bu tür süzgeç için bir uygulama verilmektedir.

Örnek 2.10

Şekil 2.19'daki pencereye OS uygulanmaktadır. Gerçek görüntüde 150, gürültülü görüntüde 0 olan orta piksel değeri, $x_{med}(i,j)=149$, $y(i,j)=\frac{1 \cdot (149)}{1} = 149$ 'dur.

2.3.2.2. Ortalama Süzgeç (OrS)

OrS için pencere işlevi (2.21) eşitliğiyle tanımlanmaktadır.

$$F_{Or}=[x(i+r,j+s)]=1, \quad r,s \in A \text{ için} \quad (2.21)$$

Örnek 2.11'de bu tür süzgeç için bir uygulama verilmektedir.

Örnek 2.11

Şekil 2.19'daki pencereye OS uygulanmaktadır. Gerçek görüntüde 150, gürültülü görüntüde 0 olan orta piksel değeri, 134 olarak hesaplanmaktadır.

$$y(i,j)=\frac{148+138+151+148+155+149+149+169}{9} = 134$$

2.3.2.3. Ortanca Merkezli Gauss (Rasgele) Bulanık Süzgeç (GO)

Pencerenin ortanca değeri, Gauss bulanık süzgecin merkezidir. Bu süzgeç, (2.22) eşitliğiyle tanımlanmaktadır (Kwan, 2002).

$$F_{GO}[x(i+r,j+s)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{x(i+r,j+s) - x_{med}(i,j)}{\sigma(i,j)} \right]^2}, \quad r,s \in A \text{ için} \quad (2.22)$$

$x_{med}(i,j)$ ve $\sigma^2(i,j)$, sırasıyla penceredeki $x(i+r,j+s)$ giriş değerlerinin ortancası ve varyansdır.

GO'ye ilişkin uygulama, Örnek 2.12'de verilmektedir.

Örnek 2.12

Şekil 2.19'daki pencereye GO uygulanmaktadır. Her bir piksele ait pencere işlevinin değerini bulmak için, penceredeki piksel değerlerinin varyansını bulmak gerekmektedir. Bu aşama, aşağıda verilmektedir.

$x(i+r,j+s)$ 'nin f dağılımı, Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.2. $x(i+r,j+s)$ 'nin f dağılımı

$x(i+r,j+s)$	0	138	148	149	151	155	169
$f(x(i+r,j+s))$	1/9	1/9	2/9	2/9	1/9	1/9	1/9

Ortalama, $E(X^2)$ ve varyans, sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mu_x = E(X) = \sum x_i \cdot f(x_i) = 0 \cdot \frac{1}{9} + 138 \cdot \frac{1}{9} + 148 \cdot \frac{2}{9} + 149 \cdot \frac{2}{9} + 151 \cdot \frac{1}{9} + 155 \cdot \frac{1}{9} + 169 \cdot \frac{1}{9} = 134. \bar{1}$$

$$E(X^2) = \sum x_i^2 \cdot f(x_i) = 0^2 \cdot \frac{1}{9} + 138^2 \cdot \frac{1}{9} + 148^2 \cdot \frac{2}{9} + 149^2 \cdot \frac{2}{9} + 151^2 \cdot \frac{1}{9} + 155^2 \cdot \frac{1}{9} + 169^2 \cdot \frac{1}{9} = 20293. \bar{4}$$

$$\text{Var}(x) = \sigma^2 = E(X^2) - \mu_x^2 = 2307.65432$$

Pencereye ilişkin ortanca değer, $x_{\text{med}}(i,j) = 149$ 'dur.

Elde edilen değerler kullanılarak $F_{GO}[x(i+r,j+s)]$ pencere işlevi değerleri (2.22) eşitliğiyle aşağıda hesaplanmaktadır.

$$F_{GO}[x(i-1,j-1)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{148-149}{\sigma} \right]^2} = 0.999783353$$

$$F_{GO}[x(i-1,j)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{138-149}{\sigma} \right]^2} = 0.974123586$$

$$F_{GO}[x(i-1,j+1)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{151-149}{\sigma} \right]^2} = 0.999133694$$

$$F_{GO}[x(i,j-1)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{148-149}{\sigma} \right]^2} = 0.999783353$$

$$F_{GO}[x(i,j)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{0-149}{\sigma} \right]^2} = 0.00814544951$$

$$F_{GO}[x(i,j+1)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{155-149}{\sigma} \right]^2} = 0.992230213$$

$$F_{GO}[x(i+1,j-1)] = F_{GO}[x(i+1,j)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{149-149}{\sigma} \right]^2} = 1$$

$$F_{GO}[x(i+1,j+1)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{169-149}{\sigma} \right]^2} = 0.916981397$$

GO çıkışı, (2.19) eşitliğiyle şöyle bulunmaktadır:

$$y(i,j)= [0.999783353.(148) + 0.974123586.(138) + 0.999133694.(151) + 0.999783353.(148) + 0.00814544951.(0) + 0.992230213.(155) + 1.(149) + 1.(149) + 0.916981397.(169)] / 7.890181045 = 151$$

Böylelikle, Şekil 2.19'daki pencereye uygulanan GO yardımıyla, gürültülü orta pikselin yeni değeri 151 olarak bulunmaktadır.

2.3.2.4. Ortanca Merkezli Simetrik Üçgen Bulanık Süzgeç (ÜO)

Orta noktası, ortanca değer olan simetrik üçgen bulanık süzgeç, (2.23) eşitliğiyle tanımlanmaktadır (Kwan, 2003).

$$F_{\text{ÜO}}[x(i+r, j+s)] = \begin{cases} 1 - \frac{|x(i+r, j+s) - x_{\text{med}}(i, j)|}{x_{\text{mm}}(i, j)} & |x(i+r, j+s) - x_{\text{med}}(i, j)| \leq x_{\text{mm}}(i, j) \\ 1, & x_{\text{mm}} = 0 \end{cases} \quad (2.23)$$

$x_{\text{mm}}(i,j)$, (2.24) eşitliğiyle verilmektedir.

$$x_{\text{mm}}(i,j) = \max[x_{\text{max}}(i,j) - x_{\text{med}}(i,j), x_{\text{med}}(i,j) - x_{\text{min}}(i,j)] \quad (2.24)$$

$x_{\text{max}}(i,j)$, $x_{\text{min}}(i,j)$ ve $x_{\text{med}}(i,j)$, sırasıyla penceredeki piksellere ilişkin en büyük değer, en küçük değer ve ortanca değerdir.

ÜO'nun 3x3 piksel boyutlu bir pencereye uygulanması, Örnek 2.13'tedir.

Örnek 2.13

Şekil 2.19'daki pencereye ÜO uygulanarak bulanık süzgeç çıkışı hesaplanmaktadır.

$$x_{\text{mm}}(i,j) = \max[169-149, 149-0] = 149 \text{ ve } R=S=1 \text{ 'dir.}$$

$$F_{\text{ÜO}}[x(i-1, j-1)] = 1 - \frac{|x(i-1, j-1) - x_{\text{med}}(i, j)|}{149} = 1 - \frac{|148 - 149|}{149} = 0.99328859$$

$$F_{\text{ÜO}}[x(i-1, j)] = 1 - \frac{|x(i-1, j) - x_{\text{med}}(i, j)|}{149} = 1 - \frac{|138 - 149|}{149} = 0.926174496$$

$$F_{\text{ÜO}}[x(i-1, j+1)] = 1 - \frac{|x(i-1, j+1) - x_{\text{med}}(i, j)|}{149} = 1 - \frac{|151 - 149|}{149} = 0.986577181$$

$$F_{\text{ÜO}}[x(i, j-1)] = 1 - \frac{|x(i, j-1) - x_{\text{med}}(i, j)|}{149} = 1 - \frac{|148 - 149|}{149} = 0.99328859$$

$$F_{\ddot{U}O}[x(i, j)] = 1 - \frac{|x(i, j) - x_{\text{med}}(i, j)|}{149} = 1 - \frac{|0 - 149|}{149} = 0$$

$$F_{\ddot{U}O}[x(i, j+1)] = 1 - \frac{|x(i, j+1) - x_{\text{med}}(i, j)|}{149} = 1 - \frac{|155 - 149|}{149} = 0.959731543$$

$$F_{\ddot{U}O}[x(i+1, j-1)] = 1 - \frac{|x(i+1, j-1) - x_{\text{med}}(i, j)|}{149} = 1 - \frac{|149 - 149|}{149} = 1$$

$$F_{\ddot{U}O}[x(i+1, j)] = 1 - \frac{|x(i+1, j) - x_{\text{med}}(i, j)|}{149} = 1 - \frac{|149 - 149|}{149} = 1$$

$$F_{\ddot{U}O}[x(i+1, j+1)] = 1 - \frac{|x(i+1, j+1) - x_{\text{med}}(i, j)|}{149} = 1 - \frac{|169 - 149|}{149} = 0.865771812$$

ÜO çıkışı, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$y(i, j) = [0.99328859.(148) + 0.926174496.(138) + 0.986577181.(151) + 0.99328859.(148) + 0.(0) + 0.959731543.(155) + 1.(149) + 1.(149) + 0.865771812.(169)] / 7.724832212 = 151$$

Böylelikle, Şekil 2.19'daki pencereye uygulanan ÜO'le, gürültülü orta pikselin yeni değeri 151 olarak bulunmaktadır.

2.3.2.5. Ortanca Merkezli Asimetrik Üçgen Bulanık Süzgeç (AÜO)

Orta noktası, ortanca değer olan asimetrik üçgen bulanık süzgeç, (2.25) eşitliğiyle tanımlanmaktadır.

$$F_{A\ddot{U}O}[x(i+r, j+s)] = \begin{cases} 1 - \frac{x_{\text{med}}(i, j) - x(i+r, j+s)}{x_{\text{med}}(i, j) - x_{\text{min}}(i, j)}, & x_{\text{min}}(i, j) \leq x(i+r, j+s) \leq x_{\text{med}}(i, j) \text{ için} \\ 1 - \frac{x(i+r, j+s) - x_{\text{med}}(i, j)}{x_{\text{max}}(i, j) - x_{\text{med}}(i, j)}, & x_{\text{med}}(i, j) \leq x(i+r, j+s) \leq x_{\text{max}}(i, j) \text{ için} \\ 1, & x_{\text{med}}(i, j) - x_{\text{min}}(i, j) = 0 \vee x_{\text{max}}(i, j) - x_{\text{med}}(i, j) = 0 \text{ için} \end{cases} \quad (2.25)$$

(2.23) eşitliğinden farklı olarak, (2.25) eşitliğindeki üçgen pencere işlevi, asimetriktir. Asimetri derecesi, $x_{\text{med}}(i, j) - x_{\text{min}}(i, j)$ ve $x_{\text{max}}(i, j) - x_{\text{med}}(i, j)$ arasındaki farka bağlıdır.

AÜO'in 3x3 boyutlu bir pencereye uygulanması, Örnek 2.14'tedir.

Örnek 2.14

Şekil 2.19'daki pencereye AÜO uygulanarak bulanık süzgeç çıkışı hesaplanmaktadır.

$$x_{\max}(i,j)=169, x_{\min}(i,j)=0, x_{\text{med}}(i,j)=149$$

$$F_{\text{AÜO}}[x(i-1, j-1)] = \frac{149-148}{149-0} = 0.99328859$$

$$F_{\text{AÜO}}[x(i-1, j)] = 1 - \frac{149-138}{149-0} = 0.926174496$$

$$F_{\text{AÜO}}[x(i-1, j+1)] = 1 - \frac{151-149}{169-149} = 0.9$$

$$F_{\text{AÜO}}[x(i, j-1)] = 1 - \frac{149-148}{149-0} = 0.99328859$$

$$F_{\text{AÜO}}[x(i, j)] = 1 - \frac{149-0}{149-0} = 0$$

$$F_{\text{AÜO}}[x(i, j+1)] = 1 - \frac{155-149}{169-149} = 0.7$$

$$F_{\text{AÜO}}[x(i+1, j-1)] = F_{\text{AÜO}}[x(i+1, j)] = 1 - \frac{149-149}{149-0} = 1$$

$$F_{\text{AÜO}}[x(i+1, j+1)] = 1 - \frac{169-149}{169-149} = 0$$

AÜO çıkışı, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$y(i,j) = [0.99328859.(148) + 0.926174496.(138) + 0.9.(151) + 0.99328859.(148) + 0.(0) + 0.7.(155) + 1.(149) + 1.(149) + 0.(169)] / 6.512751676 = 148$$

Böylelikle, Şekil 2.19'daki pencereye uygulanan AÜO'le, gürültülü orta pikselin yeni değeri 148 olarak bulunmaktadır.

2.3.2.6. Ortalama Merkezli Gauss (Rasgele) Bulanık Süzgeç (GOr)

Orta noktası, ortalama değer olan Gauss bulanık süzgeç, (2.26) eşitliğiyle tanımlanmaktadır.

$$F_{\text{GOr}}[x(i+r, j+s)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{x(i+r, j+s) - x_{\text{Or}}(i, j)}{\sigma(i, j)} \right]^2}, \quad r, s \in A \text{ için} \quad (2.26)$$

$x_{\text{Or}}(i, j)$, penceredeki piksellere ilişkin gri seviye değerlerinin ortalama değeridir.

Bulanık süzgeç için Örnek 2.15'te uygulama verilmektedir.

Örnek 2.15

Şekil 2.19'daki pencereye GOr uygulanarak bulanık süzgeç çıkışı bulunmaktadır.

$$x_{Or}(i,j)=(0+138+148+148+149+151+155+169)/9=1207/9=134, \text{Var}=\sigma^2=2307.65432$$

(2.26) eşitliğiyle her bir pencere elemanına ait pencere işlevi değeri bulunmaktadır.

$$F_{GOr}[x(i-1, j-1)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{148-134}{\sigma} \right]^2} = 0.958421742$$

$$F_{GOr}[x(i-1, j)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{138-134}{\sigma} \right]^2} = 0.996539278$$

$$F_{GOr}[x(i-1, j+1)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{151-134}{\sigma} \right]^2} = 0.939302502$$

$$F_{GOr}[x(i, j-1)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{148-134}{\sigma} \right]^2} = 0.958421742$$

$$F_{GOr}[x(i, j)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{0-134}{\sigma} \right]^2} = 0.020434498$$

$$F_{GOr}[x(i, j+1)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{155-134}{\sigma} \right]^2} = 0.908871487$$

$$F_{GOr}[x(i+1, j-1)] = F_{GOr}[x(i+1, j)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{149-134}{\sigma} \right]^2} = 0.95241844$$

$$F_{GOr}[x(i+1, j+1)] = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{169-134}{\sigma} \right]^2} = 0.776882996$$

GOr çıkışı, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$y(i,j) = [0.958421742.(148) + 0.996539278.(138) + 0.939302502.(151) + 0.958421742.(148) + 0.020434498.(0) + 0.908871487.(155) + 0.95241844.(149) + 0.95241844.(149) + 0.776882996.(169)] / 7.453711127 = 150$$

Böylelikle, Şekil 2.19'daki pencereye uygulanan GOr'le, gürültülü orta pikselin yeni değeri 150 olarak bulunmaktadır.

2.3.2.7. Ortalama Merkezli Simetrik Üçgen Bulanık Süzgeç (ÜOr)

Orta noktası, ortalama değer olan simetrik üçgen bulanık süzgeç, (2.27) eşitliğiyle tanımlanmaktadır.

$$F_{\ddot{U}Or}[x(i+r, j+s)] = \begin{cases} 1 - \frac{|x(i+r, j+s) - x_{Or}(i, j)|}{x_{mv}(i, j)}, & |x(i+r, j+s) - x_{Or}(i, j)| \leq x_{mv}(i, j) \\ 1, & x = 0 \end{cases} \quad (2.27)$$

$x_{mv}(i, j)$, (2.28) eşitliğiyle verilmektedir.

$$x_{mv}(i, j) = \max[x_{\max}(i, j) - x_{Or}(i, j), x_{Or}(i, j) - x_{\min}(i, j)] \quad (2.28)$$

$x_{\max}(i, j)$, $x_{\min}(i, j)$ ve $x_{Or}(i, j)$, sırasıyla penceredeki piksellere ilişkin en büyük değer, en küçük değer ve ortalama değerdir.

$\ddot{U}Or$ süzgecin 3x3 boyutlu bir pencereye uygulanması, Örnek 2.16'dadır.

Örnek 2.16

Şekil 2.19'daki pencereye $\ddot{U}Or$ uygulanarak bulanık süzgeç çıkışı hesaplanmaktadır.

$$x_{Or}(i, j) = 134, \quad x_{\max}(i, j) = 169, \quad x_{\min}(i, j) = 0, \quad x_{mv}(i, j) = \max[169 - 134, 134 - 0] = 134$$

$$F_{\ddot{U}Or}[x(i-1, j-1)] = 1 - \frac{|148 - 134|}{134} = 0.895522388$$

$$F_{\ddot{U}Or}[x(i-1, j)] = 1 - \frac{|138 - 134|}{134} = 0.970149253$$

$$F_{\ddot{U}Or}[x(i-1, j+1)] = 1 - \frac{|151 - 134|}{134} = 0.873134328$$

$$F_{\ddot{U}Or}[x(i, j-1)] = 1 - \frac{|148 - 134|}{134} = 0.895522388$$

$$F_{\ddot{U}Or}[x(i, j)] = 1 - \frac{|0 - 134|}{134} = 2$$

$$F_{\ddot{U}Or}[x(i, j+1)] = 1 - \frac{|155 - 134|}{134} = 0.843283582$$

$$F_{\ddot{U}Or}[x(i+1, j-1)] = F_{\ddot{U}Or}[x(i+1, j)] = 1 - \frac{|149 - 134|}{134} = 0.888059701$$

$$F_{\ddot{U}Or}[x(i+1, j+1)] = 1 - \frac{|169 - 134|}{134} = 0.73880597$$

$\ddot{U}Or$ çıkışı, aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$y(i,j)=[0.895522388.(148) + 0.970149253.(138) + 0.873134328.(151) + 0.895522388.(148) + 2.(0) + 0.843283582.(155) + .888059701.(149) + 0.888059701.(149) + 0.73880597.(169)] / 8.992537311=117$$

Böylelikle, Şekil 2.19'daki pencereye uygulanan ÜOR'le, gürültülü orta pikselin yeni değeri 117 olarak bulunmaktadır.

2.3.2.8. Ortalama Merkezli Asimetrik Üçgen Bulanık Süzgeç (AÜOr)

Orta noktası, ortalama değer olan asimetrik üçgen bulanık süzgeç, (2.29) eşitliğiyle tanımlanmaktadır (Schulte ve ark., 2006).

$$F_{AÜOr}[x(i+r, j+s)] = \begin{cases} 1 - \frac{x(i+r, j+s) - x_{Or}(i, j)}{x_{max}(i, j) - x_{Or}(i, j)}, & x_{Or}(i, j) \leq x(i+r, j+s) \leq x_{max}(i, j) \\ 1 - \frac{x_{Or}(i, j) - x(i+r, j+s)}{x_{Or}(i, j) - x_{min}(i, j)}, & x_{min}(i, j) \leq x(i+r, j+s) \leq x_{Or}(i, j) \\ 1, & x_{max}(i, j) - x_{Or}(i, j) = 0 \vee x_{Or}(i, j) - x_{min}(i, j) = 0 \end{cases} \quad (2.29)$$

$x_{max}(i,j)$, $x_{min}(i,j)$ ve $x_{Or}(i,j)$, sırasıyla penceredeki piksellere ilişkin en büyük değer, en küçük değer ve ortalama değerdir.

AÜOr'in 3x3 boyutlu bir pencereye uygulanması, Örnek 2.17'dedir.

Örnek 2.17

Şekil 2.19'daki pencereye AÜOr uygulanarak bulanık süzgeç çıkışı hesaplanmaktadır.

$$x_{Or}(i,j) = 134, \quad x_{max}(i,j) = 169, \quad x_{min}(i,j) = 0$$

(2.29) eşitliğiyle her bir pencere elemanına ait pencere işlevi değeri hesaplanmaktadır.

$$F_{AÜOr}[x(i-1, j-1)] = 1 - \frac{148-134}{169-134} = 0.6$$

$$F_{AÜOr}[x(i-1, j)] = 1 - \frac{138-134}{169-134} = 0.885714285$$

$$F_{AÜOr}[x(i-1, j+1)] = 1 - \frac{151-134}{169-134} = 0.514285714$$

$$F_{AÜOr}[x(i, j-1)] = 1 - \frac{148-134}{169-134} = 0.6$$

$$F_{A\ddot{U}Or}[x(i, j)] = 1 - \frac{134 - 0}{134 - 0} = 0$$

$$F_{A\ddot{U}Or}[x(i, j + 1)] = 1 - \frac{155 - 134}{169 - 134} = 0.4$$

$$F_{A\ddot{U}Or}[x(i + 1, j - 1)] = F_{A\ddot{U}Or}[x(i + 1, j)] = 1 - \frac{149 - 134}{169 - 134} = 0.571428571$$

$$F_{A\ddot{U}Or}[x(i + 1, j + 1)] = 1 - \frac{169 - 134}{169 - 134} = 0$$

A \ddot{U} Or çıkışı, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$y(i, j) = [0.6.(148) + 0.885714285.(138) + 0.514285714.(151) + 0.6.(148) + 0.(0) + 0.4.(155) + 0.571428571.(149) + 0.571428571.(149) + 0.(169)] / 8.992537311 = 147$$

Böylelikle, Şekil 2.19'daki pencereye uygulanan A \ddot{U} Or'le, gürültülü orta pikselin yeni değeri 147 olarak bulunmaktadır.

Bulanık süzgeçlerin verimi, görüntünün özelliklerine bağlıdır. Genelde, benzer özellikteki görüntülerde istikrarlı süzgeç verimleri gözlenmektedir (Kwan, 2003).

Literatürdeki bulanık süzgeçlerde gürültü miktarı, süzgeçlerin verimlerini etkilemektedir. Düşük, orta ve yüksek yoğunluktaki gürültüler için farklı süzgeç başarımları olabilmektedir. Kwan, 2003'te yaptığı çalışmada farklı gürültü yoğunluklarında farklı başarımlar elde etmektedir. Buna göre sıralamalar şöyledir: %3 gürültü için, GO, ÜO, ÜOr, GOr, AÜO, AÜOr'tir. %15 gürültü için, GO, ÜO, ÜOr, AÜO, AÜOr, GOr'tir. %30 gürültü için, AÜOr, AÜO, GO, ÜOr, ÜO, GOr'tir (Kwan, 2003).

Literatürdeki bulanık süzgeçlerde 3x3, 5x5 ve 7x7 piksel boyutlu komşuluklar, aynı başarımların sıralamasını vermemektedirler. Kwan, 2003'teki çalışmasında %15 gürültü yoğunluğuna sahip Lena görüntüsüne bulanık süzgeçler uygulamaktadır. 3x3'lük pencere için başarımların sıralaması; GO, ÜO, ÜOr, AÜO, AÜOr, GOr'tir. 5x5'lik pencere için başarımların sıralaması; GO, ÜO, AÜO, ÜOr, GOr, AÜOr 'tir. 7x7'lik pencere için başarımların sıralaması; GO, ÜO, AÜO, GOr, ÜOr, , AÜOr 'tir (Kwan, 2003).

2.4. Literatürde Yer Alan Tuz ve Biber Gürültülü Görüntüler

Birçok çalışmada olduğu gibi tezdeki görüntülerde de dürtü gürültüsü yapay olarak eklenmektedir. Bir görüntüye yapay olarak gürültü eklemek, bir görüntü işleme

operatörünün gürültüye olan direncini test etmekte ve süzgeçlerin verimini hesaplamaya yaramaktadır.

Literatürde doğal olarak elde edilmiş dürtü gürültülü görüntüler (uzay ve radar görüntüleri, taranmış görüntüler) yer almaktadır. Çünkü, CCD ve CMOS algılayıcılar, yüksek sıcaklık ve uzun pozlama (aşırı ışıklama) nedeniyle görüntüde tuz ve biber gürültüsü oluşturmaktadırlar (Janesick, <http://arjournals.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.nucl.53.041002.110431>, 11.11.2009).

Uzay görüntülerinde dürtü gürültüsü oluşmaktadır. Şekil 2.21'de gürültülü galaksi görüntüsü verilmektedir (http://www.rocketroberts.com/astro/ccd_fundamentals.htm, 12.11.2009). Şekil 2.22'de dürtü gürültülü uzay görüntüsü yer almaktadır (Berry ve Burnell, <http://www.astrosurf.com/jwisn/basics.htm>, 17.11.2009).

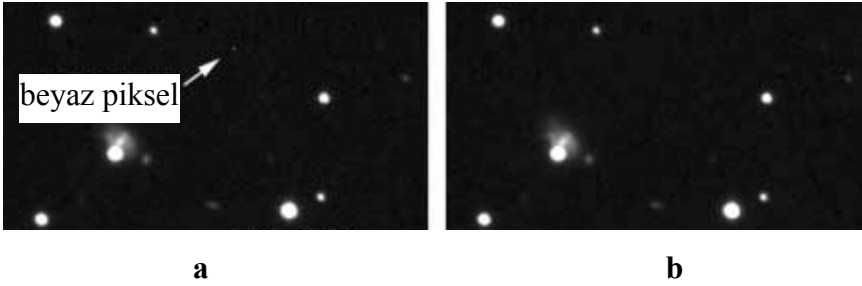


Şekil 2.21. Siyah ve beyaz pikseller içeren gürültülü galaksi görüntüsü



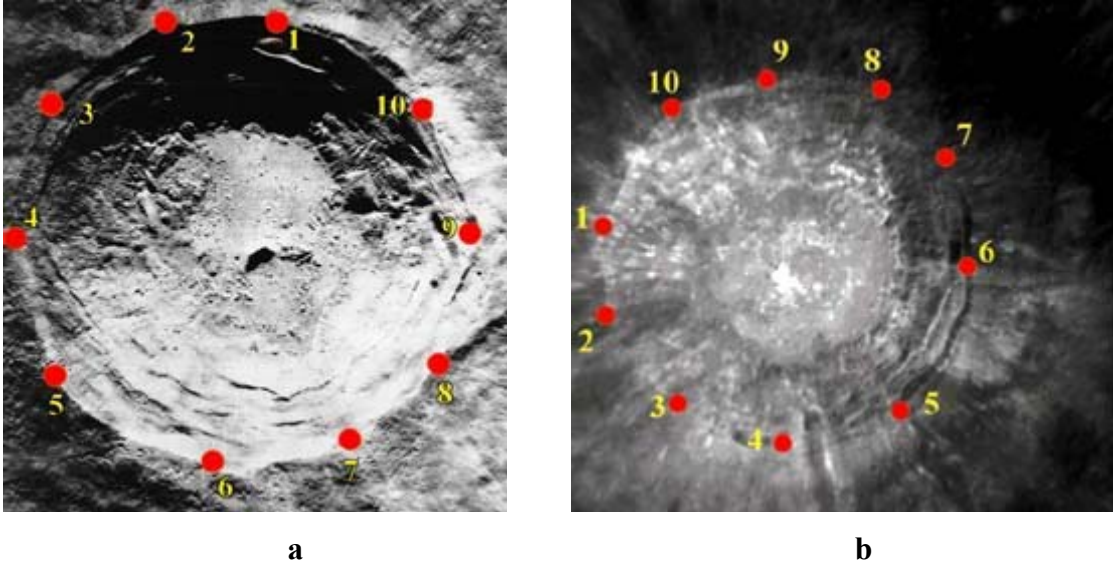
Şekil 2.22. Dürtü gürültülü uzay görüntüsü

Şekil 2.23.a'da beyaz piksel içeren uzay görüntüsü verilmektedir. Şekil 2.23.b'de bu görüntüye uygulanan OS sonucunda bu pikselin yok edildiği görülmektedir (http://www.physics.uci.edu/~observat/CCDOps_User_Guide_Nov_2003.pdf, 13.11.2009).



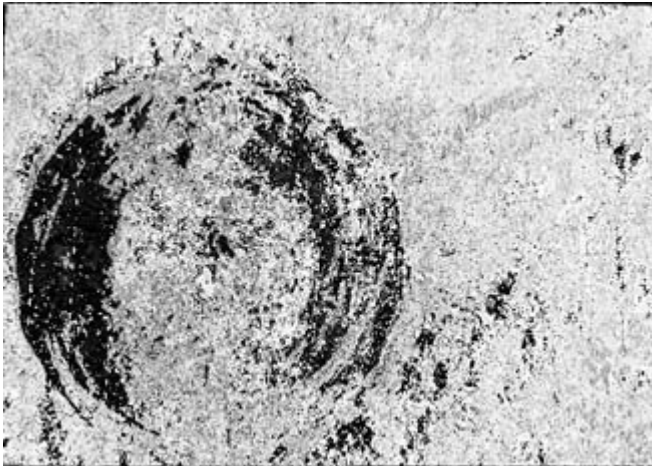
Şekil 2.23. a) Beyaz piksel içeren uzay görüntüsü b) OS kullanılarak elde edilen görüntü

Ön işlem uygulanmış uzay görüntülerindeki tuz ve biber gürültüsünü gidermek için OS'ten yararlanılmaktadır (Sivanandam, <https://ritdml.rit.edu/dspace/bitstream/1850/5797/1/CSivanandamThesis05-1998.pdf>, 16.11.2009). Ay yüzeyinin, 1966'da yörünge aracı Orbiter ve 1994'te Clementine uydusu tarafından çekilen görüntüleri Şekil 2.24'tedir.

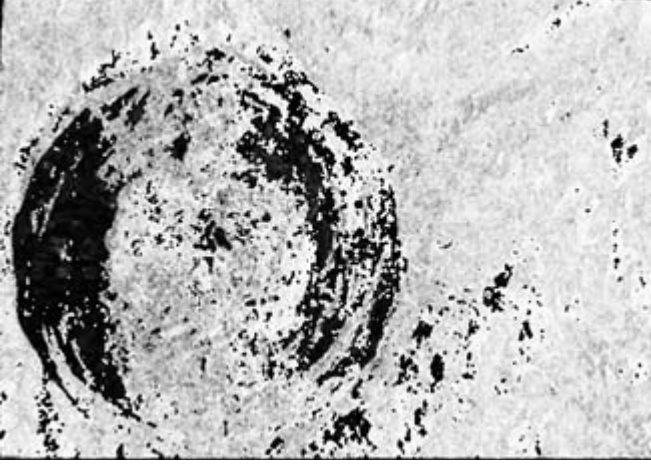


Şekil 2.24. a) Orbiter yörünge aracı tarafından çekilen ay yüzeyi görüntüsü
b) Clementine uydusu tarafından çekilen ay yüzeyi görüntüsü

Kenar belirleme işlemi uygulanan iki görüntünün fark görüntüsünde (Şekil 2.25) görülen tuz ve biber gürültüsünü yok etmek için uygulanan OS sonucu, Şekil 2.26'dadır.



Şekil 2.25. Kenar belirleme işlemi uygulanan Orbiter ve Clementine'e ait görüntülerin fark görüntüsü



Şekil 2.26. Fark görüntüsündeki dürtü gürültüsünü gidermek için uygulanan OS sonucu

Radar görüntülerinde dürtü gürültüsü oluşmaktadır (<http://www.frntr.com/lise-bilgi-istekleri/2448773-uydularin-calisma-prensibi-ve-kullanim-alanlari-fizik-donem-odevi.html>, 16.11.2009).

Taranmış görüntülerde tuz ve biber gürültüsü oluşmaktadır. Şekil 2.27.a'da taranmış görüntü verilmektedir (http://www.dma.org/photosig/images/Before_Salt-n-Pepper.jpg, 17.11.2009). Bu görüntünün süzölmüş hali, Şekil 2.27.b'dedir (http://www.dma.org/photosig/images/After_Salt-n-Pepper.jpg, 17.11.2009).



a



b

Şekil 2.27. a) Taranmış görüntü b) Süzgeç sonucu

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Amaç, çeşitli miktarlarda tuz ve biber gürültüsü içeren görüntülerde gürültüyü bulduktan sonra gidermektir. Çalışmanın ilk aşaması, gürültüyü belirlemektir. 0 ve 255 değerleri dışındaki pikseller bozulmamış pikseller olup u kümesini, geri kalan pikseller bozuk pikseller olup c kümesini oluşturmaktadır. Gürültü sezici $\Delta(\cdot)$, (3.1) ile verilen ikili mantık ifadesidir.

$$\Delta(\text{NI}(x, y)_i) = \begin{cases} 1, & \text{NI}(x, y)_i \in \{0, 255\} \\ 0, & \text{diger} \end{cases} \quad (3.1)$$

NI, gürültülü görüntü olmak üzere $\text{NI}(x, y)_i$, gürültülü görüntü üzerindeki (x, y) noktasındaki i pikselini göstermektedir. Piksel, gürültü değilse $\Delta(\cdot)=0$ değerini almakta ve piksel u kümesine ait olmaktadır (u kümesindeki piksellerin değerleri korunmaktadır). Piksel, 0 veya 255 değerine sahipse $\Delta(\cdot)=1$ değerini almakta ve piksel c kümesine ait olmaktadır.

Çalışmanın ikinci aşaması, görüntüde belirlenen gürültüyü gidermektir. c kümesindeki gürültü piksellerinin yeni değerlerini bulmak için bu çalışmada önerilen süzgeçler kullanılmaktadır. Bu çalışmada önerilen üç ayrı yeni süzgeç, klasik süzgeçlerin başarım, hız ve zaman açısından eksikliklerini gidermek için geliştirilmiştir. Bu süzgeçler; şartlı ortanca süzgeç, şartlı dört yönlü ortalama süzgeç ve şartlı dört yönlü ortalama değer merkezli simetrik üçgen bulanık süzgeçtir.

3.1. Şartlı Ortanca Süzgeç (ŞOS)

ŞOS'in geliştirilme nedeni, tuz ve biber gürültüsünü gidermek için standart yöntem olan OS'in daha etkin kullanılmasını sağlamaktır. OS, gürültülü görüntüdeki tüm piksellere uygulandığı için bozuk olmayan piksellerin gri seviye değerlerini de değiştirmekte ve asıl değerlerinden uzaklaştırmaktadır. Gürültü yoğunluğu arttıkça, bu etki artarak, süzölmüş görüntüde bulanıklık oluşmasıyla kendini göstermektedir. Kenarlar, çizgiler bozulmakta ve ayrıntılar yok olabilmektedir. Detaylara zarar vermemek için yalnız gürültü piksellerine OS uygulanması düşünülmüştür. Böylelikle OS'ten en iyi şekilde yararlanılması hedeflenmiştir. Bozuk olmayan piksellerin değeri değişmediği için ayrıntıların korunması sağlanmıştır. OS'in dürtü gürültüsü

gidermedeki etkinliği de bozuk piksellerin yeni değerlerini bulmada yararlı oldu. Bu yaklaşımmın, OS'e göre iyi bir süzgeçleme başarımı sağladığı gösterildi.

ŞOS çıkış değeri, matematiksel olarak (3.2) eşitliğiyle verilmektedir.

$$y(i,j)=\begin{cases} x_{\text{med}}(i,j), & x(i,j) = 0 \vee 255 \\ x(i,j), & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.2)$$

$x(i,j)$, pencerenin merkez pikseli; $x_{\text{med}}(i,j)$, pencerenin ortanca değeridir.

(3.2) ifadesinden anlaşılacağı üzere, ŞOS'te, eğer merkezdeki piksel, gürültülü olarak belirlenmişse süzgeç penceresi işleme alınmaktadır. Bu durumda, merkezdeki pikselin değeri, ortanca değerle değiştirilmektedir. Ama piksel, gürültülü değilse süzgeçleme yapılmamakta ve pikselin gri seviye değeri aynen kalmaktadır.

Örnek 3.1

Şekil 3.1.a'da; gürültü içeren, 3x3'lük görüntü parçası görülmektedir. Merkez pikselin gürültü olmadığı görülmektedir. OS, gürültü olup olmadığına bakılmaksızın gürültülü görüntünün tamamına uygulandığı için pikselin 143 olan orijinal değeri, 104 olan medyan değerle değişmektedir. Böylece pikselin gerçek değer yok edilmektedir. Oysa ŞOS kullanıldığında; merkez piksel, 0 veya 255 olmadığı için gürültü olmadığı belirlenecektir. Böylece pikselin gerçek değer bozulmadan aynen kalacaktır. OS kullanılarak oluşan MSE hata değer, ŞOS kullanılarak sıfırlanmış olmaktadır.

128	0	135
0	143	146
101	104	103

ortanca

0 0 101 103 **104** 128 135 143 146

Şekil 3.1. a) Görüntü matrisi **b)** OS uygulandığında elde edilen sonuç

3.2. Şartlı Dört Yönlü Ortalama Süzgeç (ŞDYOS)

ŞDYOS, görüntüdeki piksellerin gri değerleri arasında tutarlılık olduğu düşünülerek geliştirilmiştir. Merkez pikselin gri değeriyle komşularının gri değerleri arasında sayısal olarak yakınlık olduğu düşüncesi, yeni bir süzgeç algoritması

geliştirilmesine sebep olmuştur. Sayısal yakınlıktan dolayı gürültü pikselinin yeni değeri, gürültüden fazla etkilenmeden hesaplanabilmektedir. Böylece, önerilen süzgecin başarımlı yüksek olmaktadır. Küçük boyutlu alt görüntülerde tutarlılığın daha yüksek olduğu fikriyle, bu çalışmada $k=1$ alınmakta ve 3×3 piksel boyutlu pencereler kullanılmaktadır.

ŞDYOS'te, ŞOS'te olduğu gibi gürültülü piksele, süzgeçleme işlemi uygulanmaktadır. Diğer piksellerin gri seviye değerleri değişmeden aynen kalmaktadır. Çünkü, ayrıntıların korunması, süzölmüş görüntünün kalitesini iyi yönde etkilemektedir. Bu yüzden ŞDYOS çıkış değeri, (3.3) eşitliğindeki gibi verilmektedir. Gürültünün giderilmesi için bu tezde önerilen, dört yönlü ortalama süzgeçten (DYOS) faydalanılmaktadır.

$$y(i,j) = \begin{cases} y'(i,j), & x(i,j) = 0 \vee 255 \\ x(i,j), & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.3)$$

$x(i,j)$, pencerenin merkez pikseli; $y'(i,j)$, DYOS'in çıkış değeri olup (3.5) eşitliğiyle tanımlanmaktadır.

$W(x,y)$, merkezi (x,y) koordinatlı $(2k+1) \times (2k+1)$ boyutlu kare bir pencere ve $q(x,y)$, penceredeki pikseller olsun. Görüntü üzerinde kaydırılan bu pencerenin dört alt penceresi, $W_1(x,y)$, $W_2(x,y)$, $W_3(x,y)$ ve $W_4(x,y)$ 'dir. Bir nesneye ait görüntüdeki yatay, dişey ve köşegen hatta yer alan piksellerde sayısal yakınlık olduğu düşünölmektedir. Her yönde yer alan pikseller arasındaki sayısal yakınlığı ayrı ayrı değerlendirmek için pencerenin dört tane yönü ele alınmaktadır. Her bir alt penceredeki pikseller (merkez piksel hariç) (3.4) eşitliğinde verilmektedir.

$$\begin{aligned} W_1(x,y) &= q(x,y+j), \\ W_2(x,y) &= q(x+j,y+j), & -k \leq j \leq k, j \neq 0 \text{ olmak üzere} \\ W_3(x,y) &= q(x+j,y), \\ W_4(x,y) &= q(x+j,y-j) \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$y'(i,j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_j W_m(x,y)}{M} = x_{4y}(i,j) \quad -k \leq j \leq k, j \neq 0 \quad (3.5)$$

$W_m(x,y)$, alt penceredeki piksellerdir. a_m , her bir alt penceredeki gürültü olmayan piksellerin sayısıdır. M , en az bir tane sağlam piksele sahip alt pencere sayısıdır. $y'(i, j)$ değeri, ondalıklı sayı olarak elde edildiğinde; yuvarlatma işlemi uygulanarak tam sayı değeri bulunmaktadır.

(3.5) eşitliğinde gürültü olmayan pikseller kullanılmakta, 0 ve 255 gri seviye değerli pikseller süzgeç işlemine katılmamaktadır. Bu durumda a_m katsayısı, $W_m(x,y)$ 'de gürültü olan piksel sayısı kadar azaltılmaktadır. Örnek 3.3'te, yatay alt penceredeki (W_1) 255 gri seviye değerli gürültü pikselinden dolayı $a_1=1$ olduğu görülmektedir.

$\sum W_m(x,y) = 0$ ise yani alt penceredeki tüm pikseller gürültüyse M , tüm pikselleri gürültü olan alt pencere sayısı kadar azaltılmaktadır. Örnek 3.4'te yatay alt penceredeki (W_1) tüm pikseller gürültü olduğu için $M=3$ alınmaktadır.

Şartlı dört yönlü ortalama süzgeç yapısını anlatmak için Şekil 3.2'deki görüntü matrisi kullanılmaktadır. 3x3 piksel boyutlu bu görüntü matrisinin, sadece merkezinde gürültü pikseli bulunduğu varsayılmaktadır. Her bir yöndeki piksellerin gri seviye değerlerinin ortalaması bulunmaktadır. Genel ortalamayı bulmak için, bu ortalama değerler toplanarak (kullanılan dört tane yön olduğu için) dörde bölünmektedir. Genel ortalama değer, önerilen süzgecin sonucudur. Süzgeç sonucu, (3.6) eşitliğiyle verilmektedir.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Şekil 3.2. Merkez pikseli dürtü gürültüsü olan 3x3 piksel boyutlu görüntü matrisi

$$\text{Genel ortalama (süzgeç sonucu)} = \frac{\frac{b+h}{2} + \frac{d+f}{2} + \frac{a+i}{2} + \frac{g+c}{2}}{4} \quad (3.6)$$

Önerilen süzgece ait hesaplamada; görüntü matrisinin yatay, dikey ve köşegen olmak üzere dört yönünde yer alan (0 ve $(L-1)$ gri seviye değerine eşit olmayan) pikseller kullanılmaktadır. 8 bit görüntüler için 0 ve 255 değerli gürültü pikselleri

süzgeç işlemine katılmamaktadır. Eğer herhangi bir yöndeki iki pikselden biri dürtü gürültülüyse yerel ortalama, sağlam pikselin değerine eşit olmaktadır (Örnek 3.3). Eğer dört yönden birindeki piksellerin tamamı gürültüyse genel ortalamayı bulmak için, (sadece üç yön kullanılmasından dolayı) yerel ortalamaların toplamı 3'e bölünmektedir (Örnek 3.4). İkisindeki piksellerin tamamı gürültüyse, yerel ortalamaların toplamı 2'ye bölünerek genel ortalama bulunmaktadır.

ŞDYOS için bir uygulama, Örnek 3.2'de anlatılmaktadır.

Örnek 3.2

Şekil 3.3'teki 3x3'lük matrisin ortasında yer alan gürültü pikselinin ŞDYOS çıkış

$$\text{değeri, } y(i,j) = \frac{\frac{144+146}{2} + \frac{130+154}{2} + \frac{127+153}{2} + \frac{135+151}{2}}{4} = 142.5 \quad \text{olarak}$$

hesaplanmakta ve yuvarlatma işlemi uygulanarak 143 olarak elde edilmektedir.

127	130	135
144	0	146
151	154	153

Şekil 3.3. Merkez pikseli gürültü olan 3x3'lük görüntü matrisi

Gerçek değeri 143 olan gürültü pikseli, hatasız olarak bulunmaktadır.

Görüntüdeki gürültü arttığında, ŞDYOS'in kullanılmasının avantajlı olduğunu göstermek için Örnek 3.3 ve Örnek 3.4 verilmektedir.

Örnek 3.3

Şekil 3.4'te, Şekil 3.3'ten farklı olarak merkez pikselin sağında da gürültü pikseli bulunmaktadır. Bu durumda ŞDYOS uygulandığında gürültülü pikselin yeni değeri,

$$144 + \frac{\frac{130+154}{2} + \frac{127+153}{2} + \frac{135+151}{2}}{4} = 142.25 \quad \text{olarak hesaplanmakta ve yuvarlatma}$$

işlemi uygulanarak 142 olarak elde edilmektedir.

Gürültü arttığında pencerenin yatay yönündeki gri seviye dağılımının gürültüden etkilenmemişcesine süzgeç cevabını oluşturduğu görülmektedir. Çünkü yakın komşuluklarda gri seviye değerlerinin sınırlı olarak değişebileceği düşünülmektedir.

127	130	135
144	0	255
151	154	153

Şekil 3.4. Bir tane tuz ve bir tane biber gürültüsüne sahip 3x3'lük görüntü matrisi

Görüntü parçasının herhangi bir yönündeki piksellerin tamamının gürültü oldukları düşünüldüğünde; ŞDYOS'in, avantajlı sonuçlar verdiği Örnek 3.4'te gösterilmektedir.

Örnek 3.4

Şekil 3.5'te, yatay alt penceredeki piksellerin hepsinin gürültü olduğu görülmektedir. Bu durumda, ŞDYOS uygulandığında yeni değer, $\frac{130+154}{2} + \frac{127+153}{2} + \frac{135+151}{2} = 141.67$ olarak hesaplanmakta ve yuvarlatma işlemi uygulanarak 142 olarak elde edilmektedir.

Bu örnekte gürültü oranı 1/3'tür. Bu durumda, pikselin gerçek değerine yakın bir süzgeç cevabı oluşmaktadır. OS uygulandığında elde edilecek değerse 135'tir.

127	130	135
0	0	255
151	154	153

Şekil 3.5. Yatay alt penceredeki (W_1) piksellerin tümü gürültü olan 3x3'lük görüntü matrisi

ŞDYOS5 (5x5 Komşuluklu Şartlı Dört Yönlü Ortalama Süzgeç), 3x3 piksel boyutlu pencerede sağlam piksel bulunamadığında, 5x5'lik pencere yapısı kullanılmaktadır. Böylece, giriş görüntüsündeki gürültü oranına bağlı olarak çalışan ve kendisini uyarlayabilen bir süzgeç elde edilmektedir.

3.3. Şartlı Dört Yönlü Ortalama Değer Merkezli Simetrik Üçgen Bulanık Süzgeç (ŞDYOBS)

Literatürdeki bulanık süzgeçlerde; tepe değeri, ortanca ve ortalama değer olan bulanık kümeler kullanılmaktadır. ŞDYOS, tuz ve biber gürültüsünü gidermede OS ve OrS'e göre daha iyi sonuç vermektedir. Bu nedenle, önerilen ŞDYOBS'te, bulanık kümenin orta (tepe) noktası, dört yönlü ortalama değer alınmaktadır.

Şartlı süzgeç olduğu için gürültü pikseli belirlendikten sonra süzgeçleme işlemi yapılmaktadır. Diğer piksellerin değerleri değişmemektedir. Çünkü, ayrıntıların korunması için bozulmamış piksellerin gri seviye değerlerinin süzölmüş görüntüde aynen yer alması gerekmektedir. Bu yüzden ŞDYOBS çıkış değeri, (3.7) eşitliğindeki gibi verilmektedir. Gürültünün giderilmesi için bu tezde önerilen, dört yönlü ortalama değer merkezli simetrik üçgen bulanık süzgeçten (DYOBS) faydalanılmaktadır.

$$y(i,j) = \begin{cases} y''(i,j), & x(i,j) = 0 \vee 255 \\ x(i,j), & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.7)$$

$x(i,j)$, pencerenin merkez pikseli; $y''(i,j)$, DYOBS'in çıkış değeri olup (3.8) eşitliğiyle tanımlanmaktadır.

$$y''(i,j) = \frac{\sum_{(r,s) \in A} F_{4y}[x(i+r,j+s)].x(i+r,j+s)}{\sum_{(r,s) \in A} F_{4y}[x(i+r,j+s)]} \quad (3.8)$$

$N \times N$ boyutlu kare pencereye ait r ve s değerlerinin aralığı, $-R \leq r \leq R$ ve $-S \leq s \leq S$ olup $N=2R+1=2S+1$ olmaktadır. $F_{4y}[x(i+r,j+s)]$; orta noktası, dört yönlü ortalama değer olan simetrik üçgen bulanık süzgeç için pencere işlevi olup (3.9)'da tanımlanmaktadır.

Bulanık sistem olarak tanımlanan süzgeç yapısındaki; giriş, bulanıklaştırma, karar verme, bulanıklıktan kurtarma ve çıkış birimleri şöyle verilmektedir: Sistem girişi, görüntüdeki 3×3 piksel boyutlu görüntü alt matrisleridir. Giriş bulanık kümesi, $x_{\min}(i,j)$, $x_{\max}(i,j)$, $x_{\text{mm}}(i,j)$ ve $x_{4y}(i,j)$ değerlerinden elde edilen üçgen bulanık kümedir. $x_{4y}(i,j)$, üçgen bulanık kümenin orta değeridir. Bulanıklaştırma biriminde; giriş bulanık kümesine ait üyelik işlevi F ile 3×3 piksel boyutlu maskedeki her bir pikselin (gürültülü merkez piksel ve diğer gürültülü pikseller hariç), simetrik üçgen bulanık kümeye hangi

üyelik derecesiyle üye olduğu hesaplanmaktadır. Böylelikle kesin giriş değerlerinden bulanık üyelik dereceleri elde edilmektedir. Karar verme biriminde; gürültü olmayan piksellere ilişkin, "Piksel, F üyelik işleviyle tanımlı bulanık kümeye aitse gürültülü merkez pikselin yeni değeri \hat{C}_i 'dir" (\hat{C}_i , çıkış bulanık kümeleri, $i=1,2,\dots,k$ k, gürültü olmayan piksel sayısı) biçimindeki kurallar işlemektedir. Böylelikle, her 3×3 'lük maske girişe uygulandığında, gürültü olmayan piksel sayısı kadar kural işlemektedir. Bulanıklıktan kurtarma yöntemi olarak, (3.8) eşitliğinde olduğu gibi ağırlıklı ortalama kullanılmaktadır. Çıkış bulanık kümeleri yardımıyla bulanık değerlerden kesin çıkış değeri hesaplanmaktadır. Ağırlıklı ortalama yönteminde çıkış bulanık kümeleri, kesin değerlerden oluşmaktadır. Bu kümelerin şekilleri, birer sivri uç biçimindedir. Ağırlıklı ortalama yöntemine göre; kurallarla belirlenen üyeliklerle ağırlıklandırılmış çıkış bulanık kümeleri toplanıp üyeliklerin toplamına bölünmektedir. Önerilen bulanık süzgeçte; bu yöntemin kullanılmasının sebebi, literatürdeki bulanık süzgeçlerde kullanılmış olması ve hızlı sonuç vermesidir.

$$F_{4y}[x(i+r, j+s)] = \begin{cases} 1 - \frac{|x(i+r, j+s) - x_{4y}(i, j)|}{x_{mm}(i, j)}, & |x(i+r, j+s) - x_{4y}(i, j)| \leq x_{mm}(i, j) \\ 1, & x_{mm} = 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

$x_{mm}(i, j)$, (3.10) eşitliğiyle verilmektedir.

$$x_{mm}(i, j) = \max[x_{\max}(i, j) - x_{4y}(i, j), x_{4y}(i, j) - x_{\min}(i, j)] \quad (3.10)$$

$x_{\max}(i, j)$, $x_{\min}(i, j)$ ve $x_{4y}(i, j)$, sırasıyla penceredeki piksellere ilişkin en büyük değer, en küçük değer ve dört yönlü ortalama değerdir.

ŞDYOBS'in 3×3 'lük biber gürültülü bir pencereye uygulanması, Örnek 3.5'tedir.

Örnek 3.5

Şekil 3.6'daki pencereye ŞDYOBS uygulanarak, süzgeç çıkışı hesaplanmaktadır.

148	138	151
148	0	155
149	149	169

Şekil 3.6. Merkez pikseli gürültü olan 3×3 piksel boyutlu pencere

$$x_{\max}(i,j)=169, \quad x_{\min}(i,j)=0, \quad x_{4y} = \frac{\frac{148+155}{2} + \frac{148+169}{2} + \frac{138+149}{2} + \frac{149+151}{2}}{4} = 151$$

Giriş bulanık kümesi, orta değeri 151 olan üçgen biçimli bulanık kümedir.

$$x_{\min}(i,j)=\max[169-151, 151-0]=151$$

$$F_{4y}[x(i-1, j-1)] = 1 - \frac{|148-151|}{151} = 0.9801$$

$$F_{4y}[x(i-1, j)] = 1 - \frac{|138-151|}{151} = 0.9139$$

$$F_{4y}[x(i-1, j+1)] = 1 - \frac{|151-151|}{151} = 1$$

$$F_{4y}[x(i, j-1)] = 1 - \frac{|148-151|}{151} = 0.9801$$

$$F_{4y}[x(i, j+1)] = 1 - \frac{|155-151|}{151} = 0.9735$$

$$F_{4y}[x(i+1, j-1)] = F_{4y}[x(i+1, j)] = 1 - \frac{|149-151|}{151} = 0.9868$$

$$F_{4y}[x(i+1, j+1)] = 1 - \frac{|169-151|}{151} = 0.8808$$

F değerleri, Şekil 3.6'daki pencerede gürültü olmayan piksellerin, üçgen biçimli giriş bulanık kümesine hangi derecelerle üye olduklarını göstermektedir.

ŞDYOBS çıkışı, ağırlıklı ortalama yöntemiyle aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Böylece, bulanık değerlerden kesin çıkış değeri elde edilmektedir. Çıkış bulanık kümeleri; 138, 148, 149, 151, 155 ve 169 değerlerinde sivri uca sahip bulanık kümelerdir.

$$y(i,j)=[0.9801.(148) + 0.9139.(138) + 1.(151) + 0.9801.(148) + 0.9735.(155) + 0.9868.(149) + 0.9868.(149) + 0.8808.(169)] / 7.702 = 1161 / 7.702 = 151$$

Böylelikle, Şekil 3.6'daki görüntü parçasına uygulanan ŞDYOBS'le, gürültülü orta pikselin yeni değeri 151 olarak bulunmaktadır.

ŞDYOBS5 (5x5 Komşuluklu Şartlı Dört Yönlü Ortalama Değer Merkezli Simetrik Üçgen Bulanık Süzgeç), 3x3'lük maskede sağlam piksel bulunamadığında, 5x5'lik maske yapısı kullanılmaktadır. Böylece, giriş görüntüsündeki gürültü miktarına bağlı olarak çalışan ve kendisini uyarlayabilen bir süzgeç elde edilmektedir.

4. BULGULAR

Sunulan süzgeçlerin başarımlarını belirlemek üzere, literatürde var olan iki popüler test görüntüsü için MATLAB ortamında benzetim deneyleri yapılmıştır. Tasarlanan yöntemin literatürde en çok kullanılan test görüntülerine uygulandığında etkili sonuçlar vermesi, bu yöntemin diğer uygulamalarda kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Bu görüntüler, Lena ve kameraman görüntüleridir. Tüm test görüntüleri, 256x256 piksel boyutlarındaki 8 bit gri seviyeli görüntülerdir. Örnek 4.1,..., Örnek 4.14'te, Lena ve kameraman görüntülerine %10, %20,...,%70 yoğunluğunda tuz ve biber gürültüsü eklenmektedir. Görüntüdeki gürültüyü gidermek amacıyla OS, ŞOS, ŞDYOS, ŞDYOBS, ŞDYOS5 ve ŞDYOBS5 uygulanmaktadır. Böylece, klasik yöntem olan OS ile bu çalışmada yeni olarak sunulan süzgeçler karşılaştırılmaktadır. İlk beş süzgeçte, 3x3 boyutlu maske kullanılmaktadır. ŞDYOS5 ve ŞDYOBS5 olarak adlandırılan süzgeçlerde, 3x3 boyutlu alt görüntülerde sağlam piksel bulunmadığı durumlarda 5x5 boyutlu süzgeç maskesi kullanılmaktadır. Böylece, giriş görüntüsündeki gürültü oranına bağlı olarak çalışan ve kendisini uyarlayabilen süzgeçler elde edilmektedir. Sonuçlar, görsellik, MSE değerleri bakımından ortaya konmaktadır. Çizelge ve grafik aracılığıyla sonuçlar değerlendirilmektedir.

Tezde önerilen süzgeçler, yalnız gürültü piksellerine uygulanmaktadır. Bu süzgeçlerin klasik süzgeçler gibi gürültülü görüntünün tamamına uygulanan biçimleri, dört yönlü ortalama süzgeç (DYOS) ve dört yönlü ortalama değer merkezli simetrik üçgen bulanık süzgeç (DYOBS)'tir. Örnek 4.15, Örnek 4.16 ve Örnek 4.17'de bu süzgeçlerle de karşılaştırma yapılmaktadır. Bu süzgeç sonuçlarının klasik süzgeçlere göre daha verimli olduğu görülmektedir. Bu durum, önerilen süzgeç algoritmalarının verimli olduğunu göstermektedir.

Örnek 4.15'te %40 tuz ve biber gürültülü görüntüye uygulanan, literatürde yer alan on iki tane süzgeç ile bu çalışmada önerilen süzgeçlerin sonuçları karşılaştırılmaktadır.

Örnek 4.16 ve Örnek 4.17'de, %10 ve %30 gürültülü görüntülerde, önerilen süzgeçler ve literatürdeki bulanık süzgeçler karşılaştırılmaktadır.

Örnek 4.1

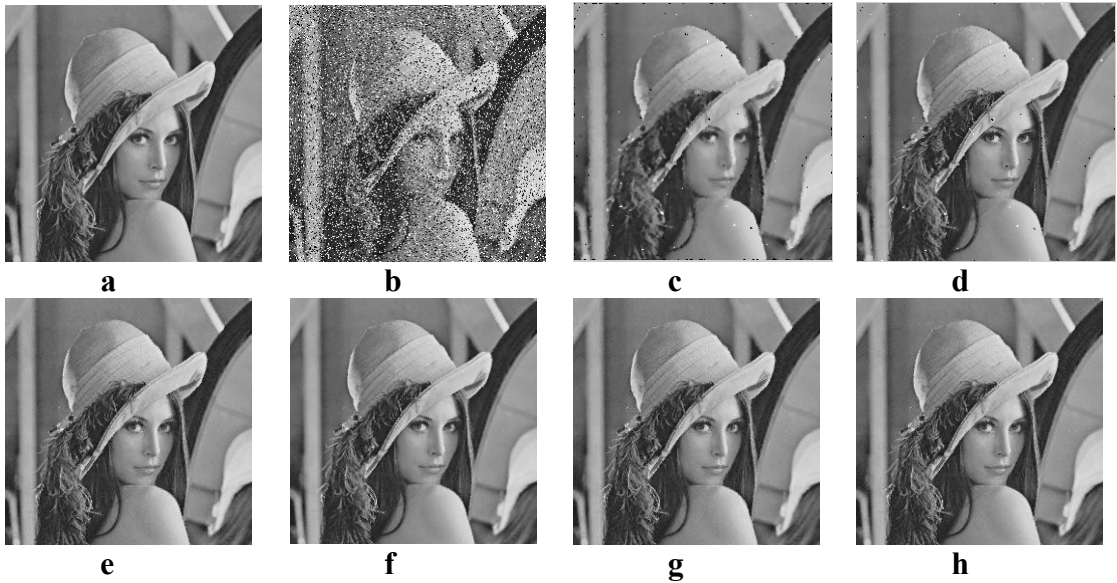
Şekil 4.1’de %10 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş Lena görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.1.a) Lena b) %10 dürtü gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Örnek 4.2

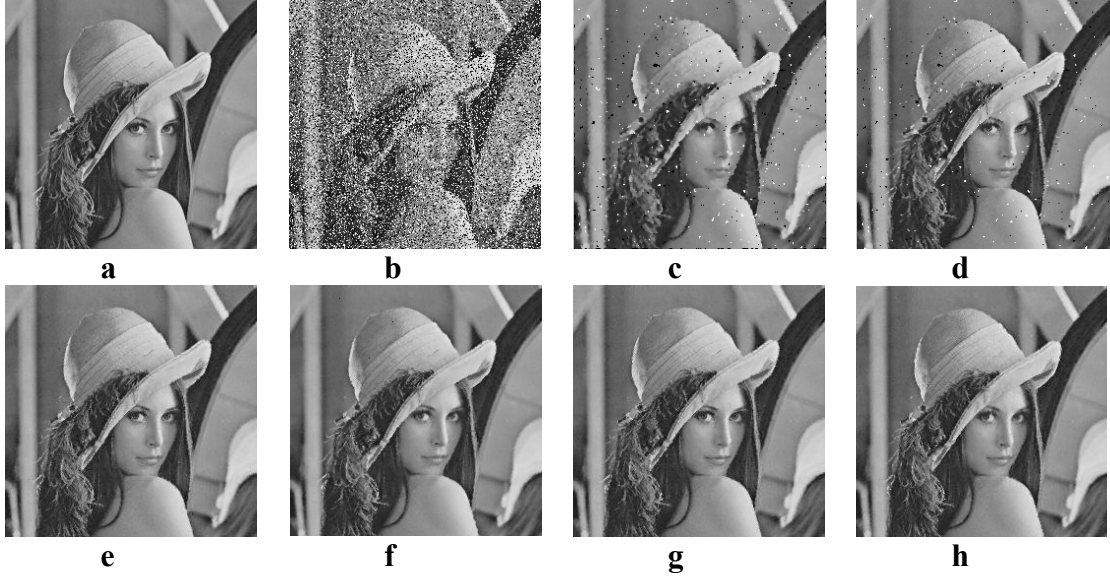
Şekil 4.2’de %20 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş Lena görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.2.a) Lena b) %20 dürtü gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Örnek 4.3

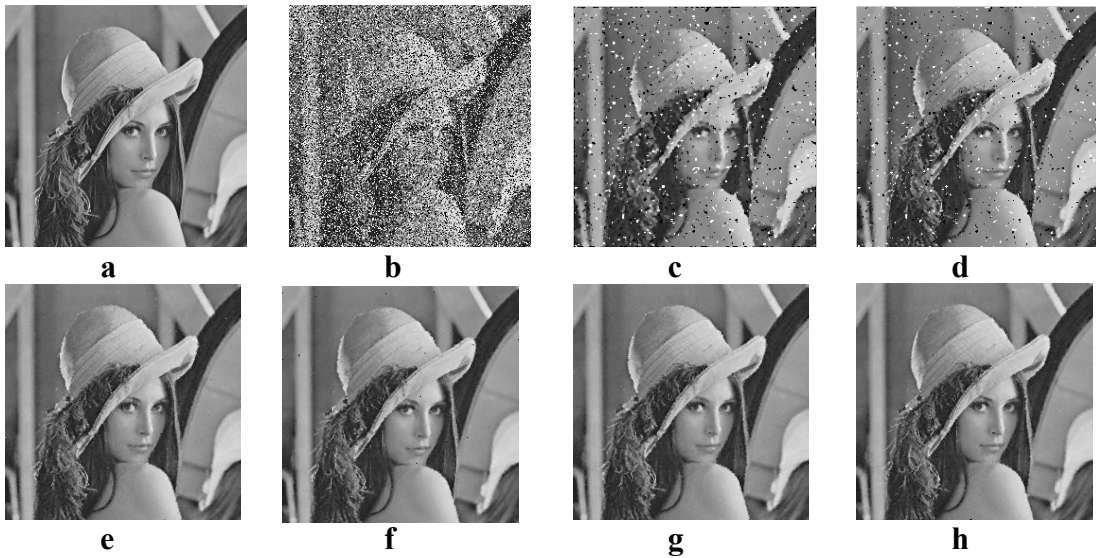
Şekil 4.3'te %30 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş Lena görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.3.a) Lena b) %30 dürtü gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Örnek 4.4

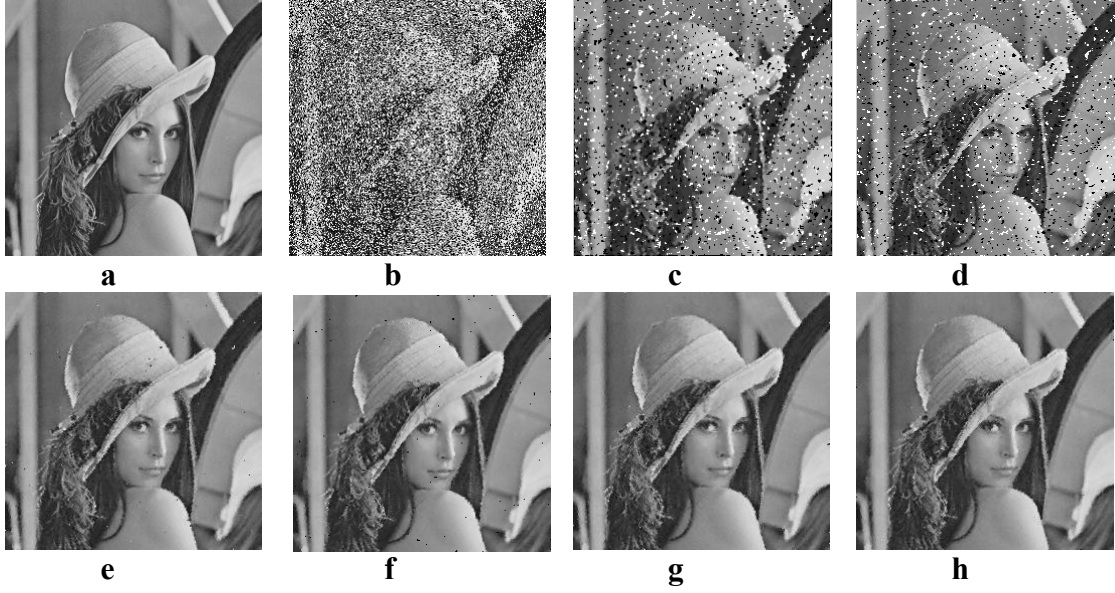
Şekil 4.4'te %40 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş Lena görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.4.a) Lena b) %40 dürtü gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Örnek 4.5

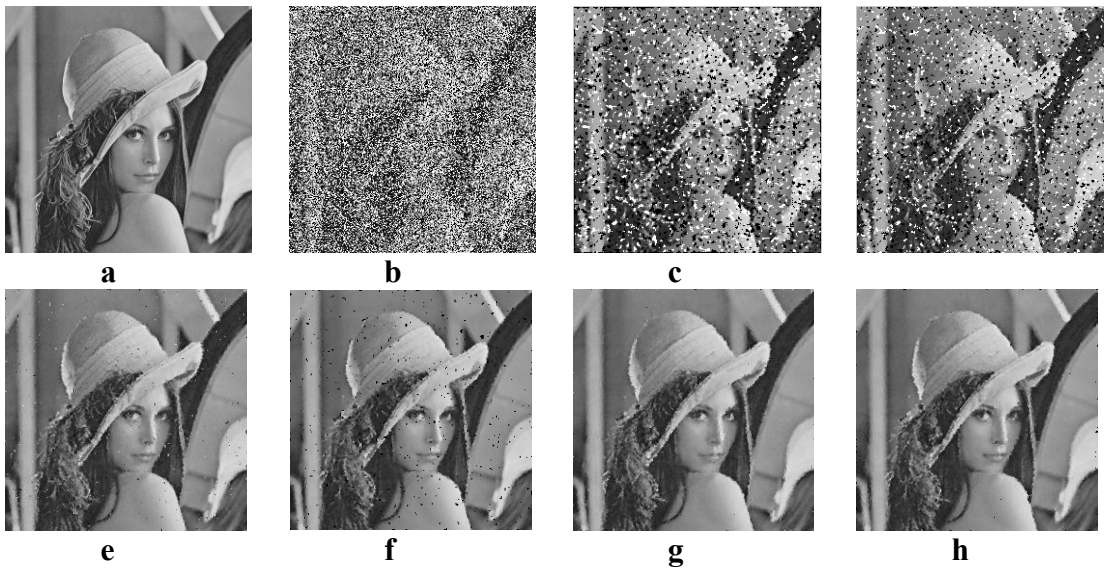
Şekil 4.5'te %50 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş Lena görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.5.a) Lena b) %50 dürtü gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Örnek 4.6

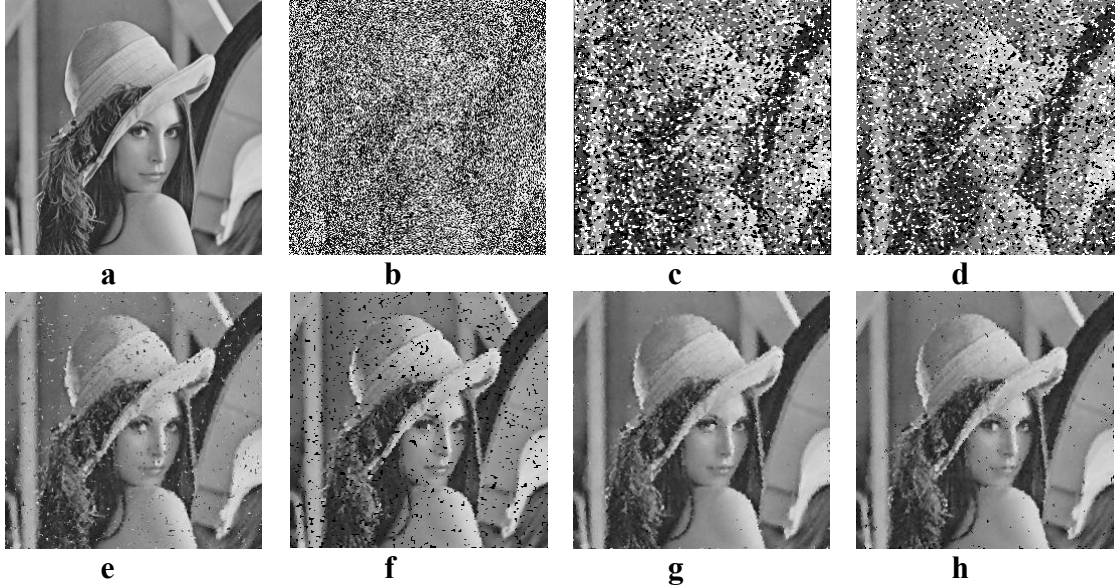
Şekil 4.6'da %60 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş Lena görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.6.a) Lena b) %60 dürtü gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Örnek 4.7

Şekil 4.7’de %70 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş Lena görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.

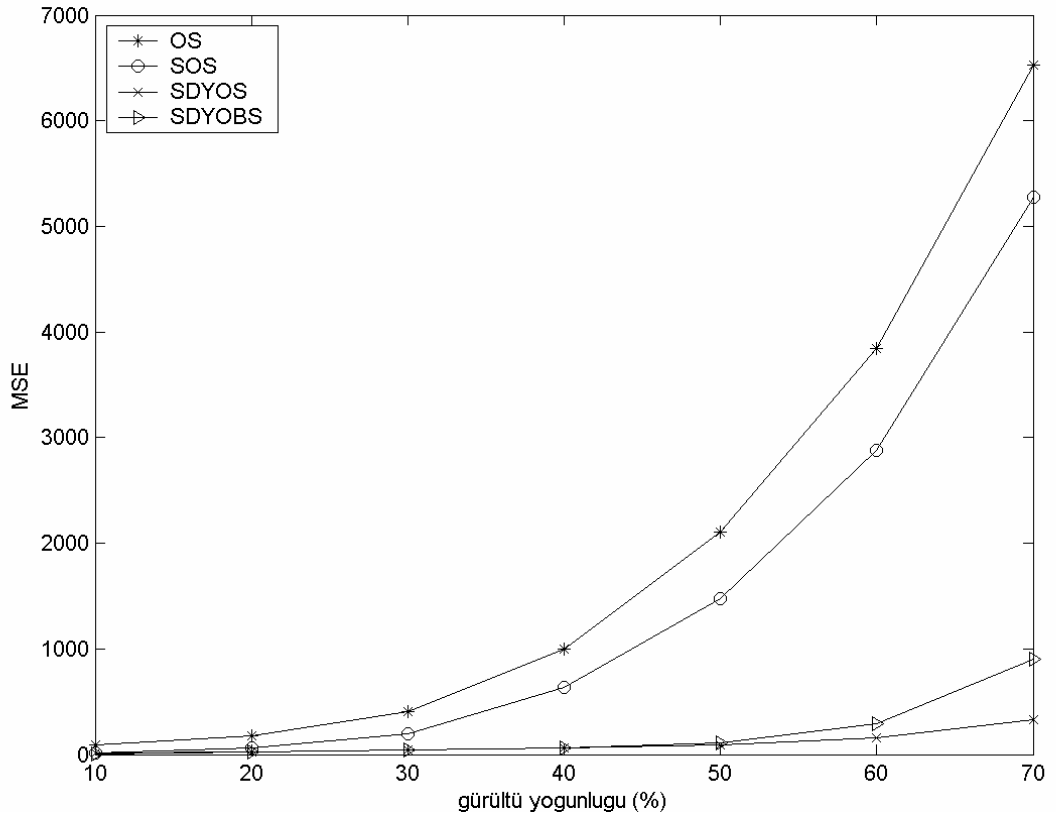


Şekil 4.7.a) Lena b) %70 dürtü gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Çizelge 4.1’de yukarıdaki örneklere ait MSE değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.1. Lena görüntüsü için MSE değerleri

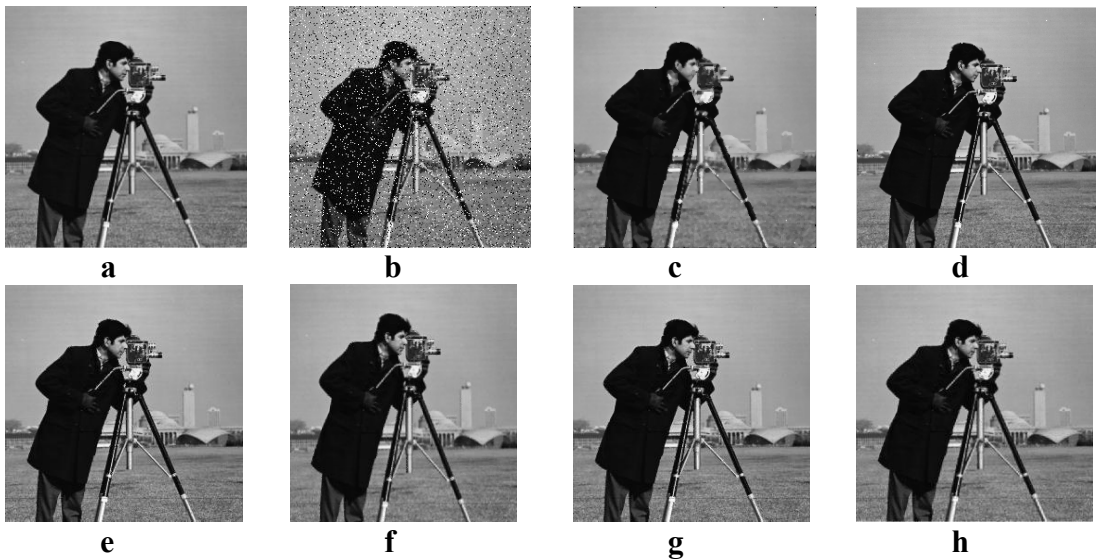
Gürültü	OS	ŞOS	ŞDYOS	ŞDYOBS	ŞDYOS5	ŞDYOBS5
%10	88.25	13.76	12.5	6.36	13.3885	11.1177
%20	179.66	59.76	26.42	24.17	24.5651	23.5909
%30	409.74	194.82	43.02	40.21	41.8568	40.5424
%40	1002.38	632.49	61.06	60.12	60.7675	57.4245
%50	2102.71	1474.27	90.69	108.96	87.3359	84.6010
%60	3844.5	2877.1	157.32	292.41	118.6186	129.8875
%70	6526.2	5276.4	326.86	898.71	187.9375	253.1422



Şekil 4.8. Lena görüntüsünün farklı gürültü yoğunluklarında MSE değerlerini karşılaştırma grafiği

Örnek 4.8

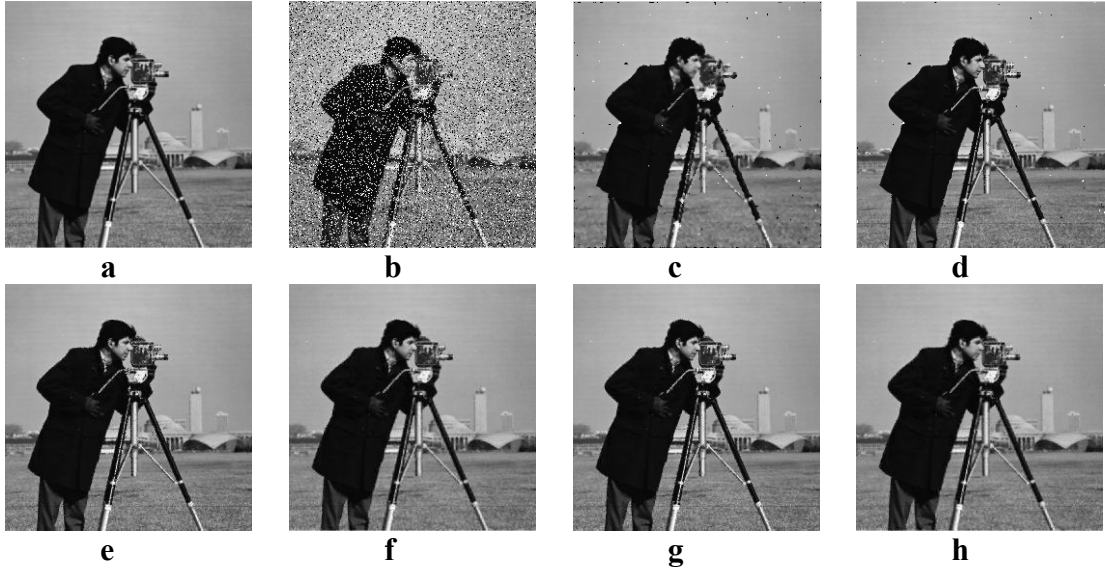
Şekil 4.9'da %10 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş kameraman görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.9.a) Kameraman **b)** %10 gürültülü görüntü **c)** OS **d)** ŞOS **e)** ŞDYOS **f)** ŞDYOBS **g)** ŞDYOS5 **h)** ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Örnek 4.9

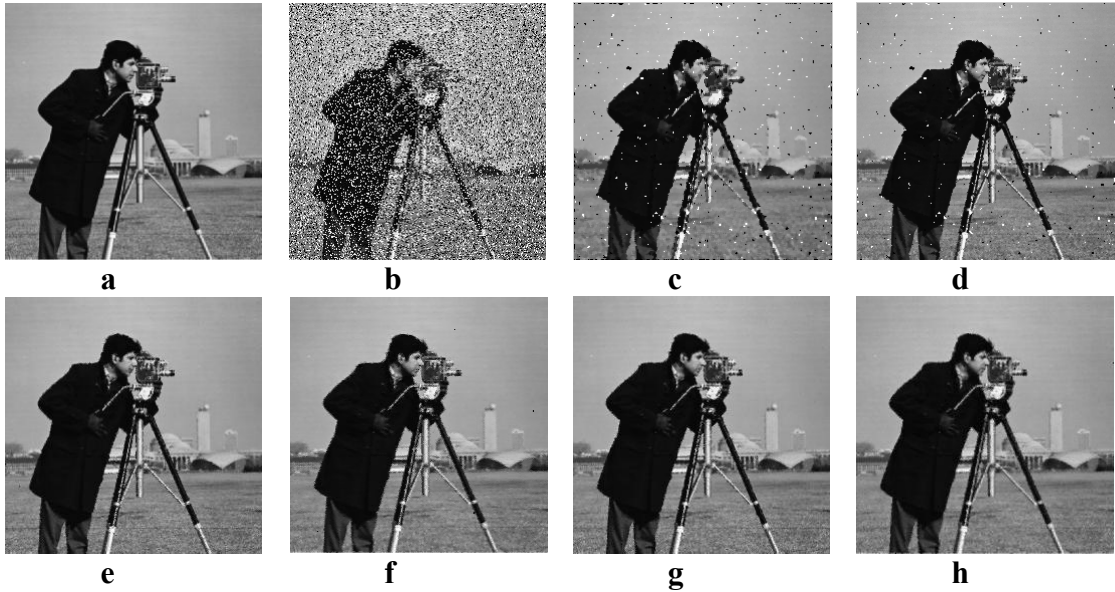
Şekil 4.10'da %20 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş kameraman görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.10.a) Kameraman b) %20 gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Örnek 4.10

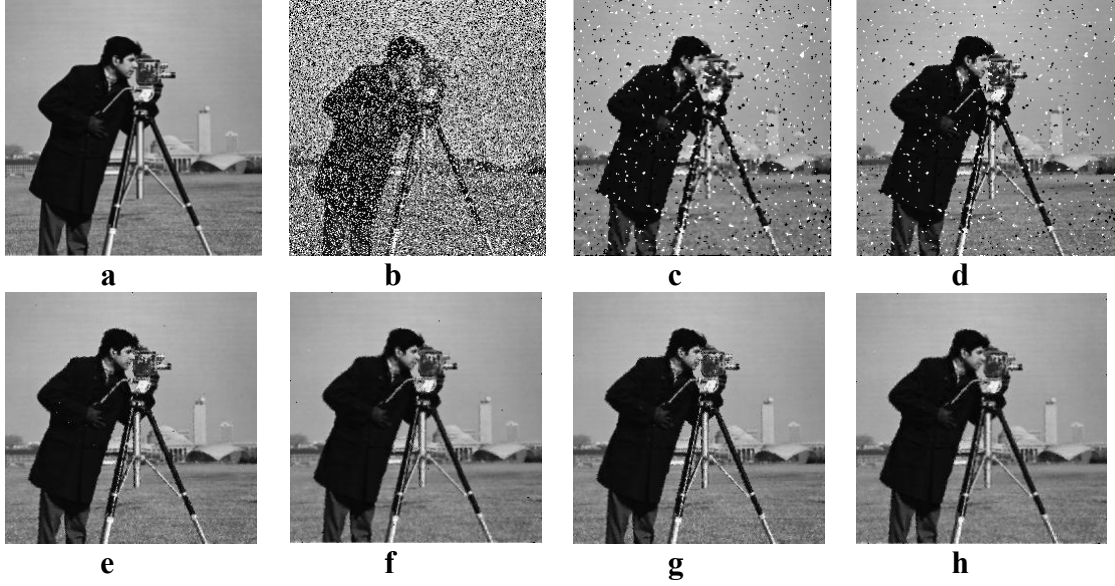
Şekil 4.11'de %30 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş kameraman görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.11.a)Kameraman b)%30 gürültülü görüntü c)OS d)ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Örnek 4.11

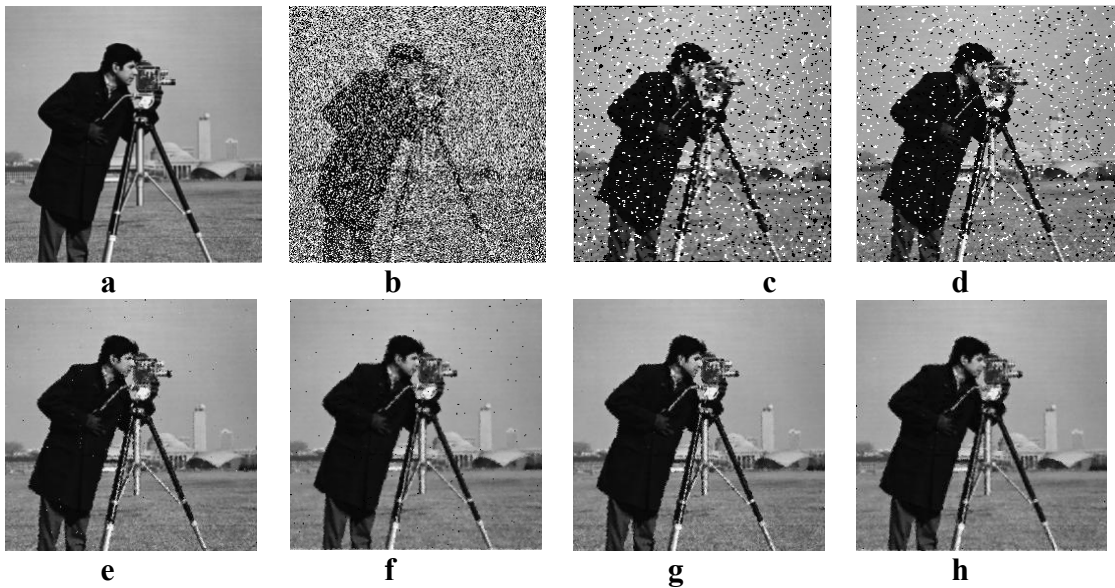
Şekil 4.12’de %40 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş kameraman görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.12.a) Kameraman b) %40 gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Örnek 4.12

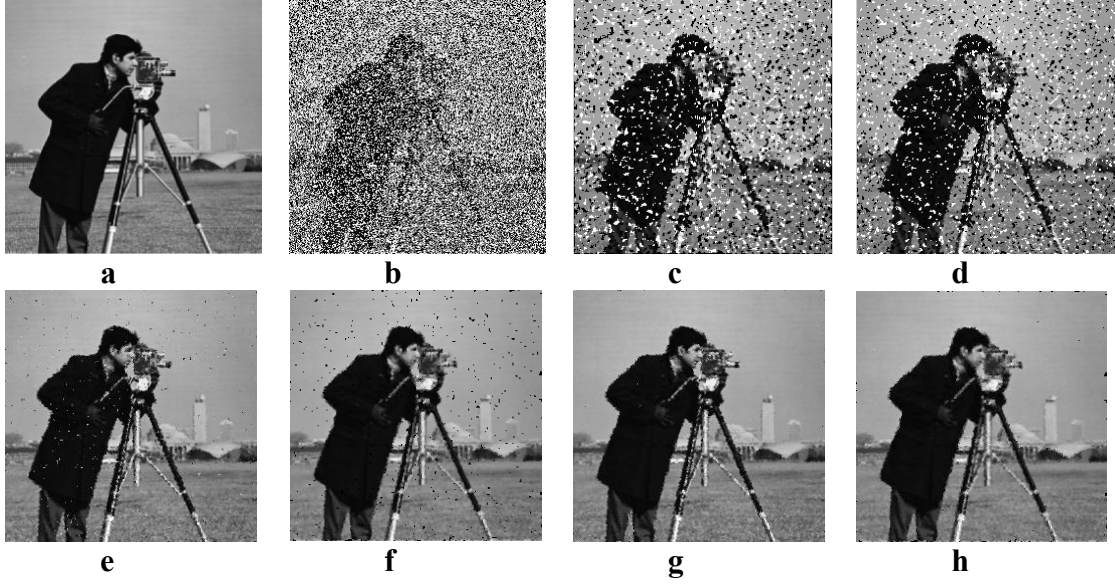
Şekil 4.13’te %50 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş kameraman görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.13.a) Kameraman b) %50 gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Örnek 4.13

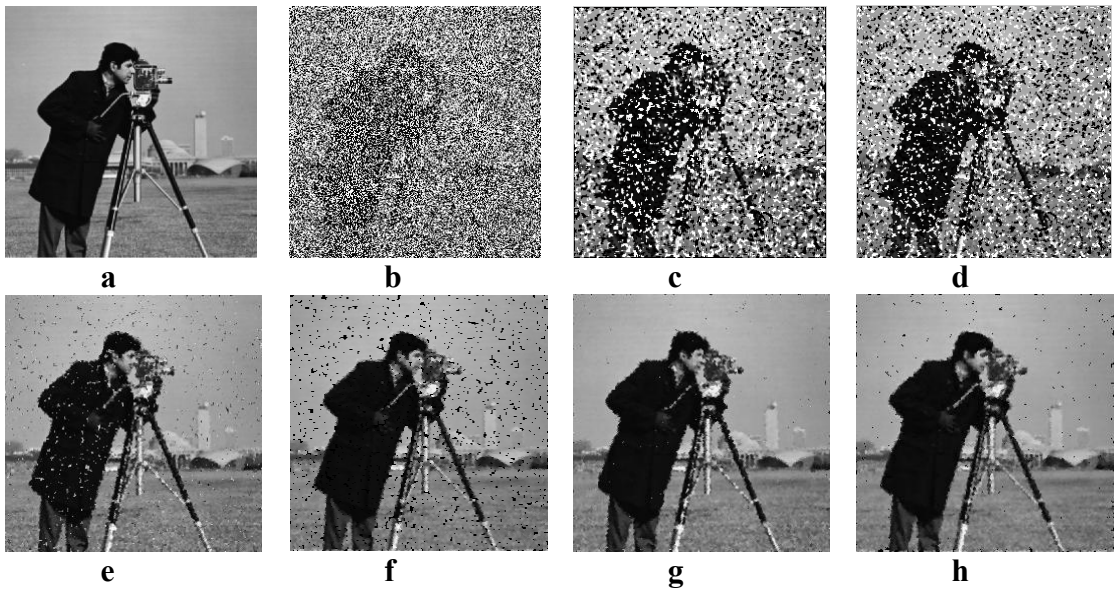
Şekil 4.14'te %60 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş kameraman görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.14.a) Kameraman b) %60 gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Örnek 4.14

Şekil 4.15'te %70 oranında dürtü gürültüsü eklenmiş kameraman görüntüsüne uygulanan süzgeçlerin sonuçları görülmektedir.

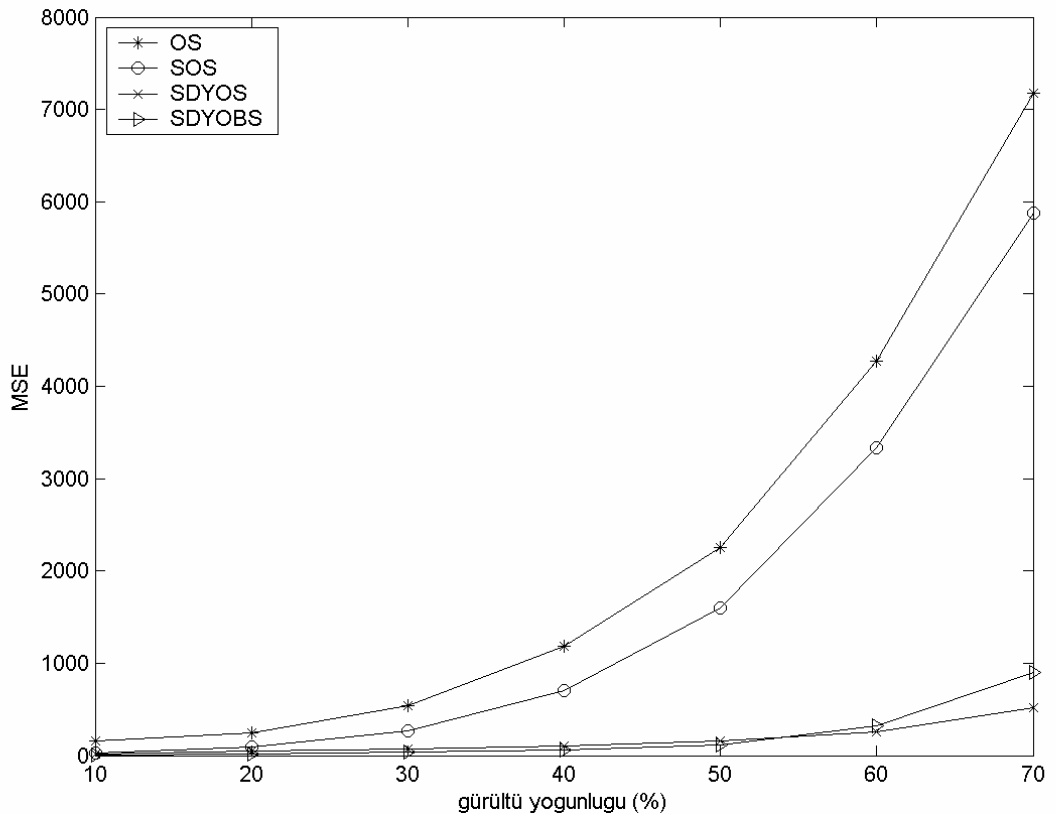


Şekil 4.15.a) Kameraman b) %70 gürültülü görüntü c) OS d) ŞOS e) ŞDYOS f) ŞDYOBS g) ŞDYOS5 h) ŞDYOBS5 kullanılarak elde edilen görüntüler

Çizelge 4.2’de yukarıdaki örneklere ait MSE değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.2. Kameraman görüntüsü için MSE değerleri

Gürültü	OS	ŞOS	ŞDYOS	ŞDYOBS	ŞDYOS5	ŞDYOBS5
%10	161.19	29.81	20.44	9.39	21.4819	9.2194
%20	248.12	92.77	45.16	20.98	47.466	20.2538
%30	541.34	263.75	74.1711	36.01	70.7724	35.9086
%40	1182.72	701.62	107.95	59	105.7641	55.7725
%50	2255.6	1596.5	157.01	113.15	142.7434	77.3071
%60	4274.1	3339.4	252.99	317.99	193.4252	145.967
%70	7172.6	5873.5	518.46	896.07	296.881	272.7644



Şekil 4.16. Kameraman görüntüsünün farklı gürültü yoğunluklarında MSE değerlerini karşılaştırma grafiği

Örnek 4.15

%40 dürtü gürültülü Lena görüntüsünden gürültünün süzülmesine çalışılmaktadır. Gürültülü Lena görüntüsüne OS, MAOS, ÜDOS ve ÇDOS uygulanmıştır (Çivicioğlu ve Alçı, 2004). Ayrıca, gürültü bulurken Ki-kare testinden yararlanılan GAS ve DS sonuçları verilmektedir (Çivicioğlu ve ark., 2004; Beşdok ve ark., 2005 a).

Karşılaştırmada, bu tezde kullanılan gürültü bulma tekniği ve üç tane interpolasyon tekniğinden yararlanılan; BS-Dİ, BS-Kİ ve BS-Kül'inin sonuçları yer almaktadır (Çivicioğlu ve Alçı, 2004). Gürültü belirleme yöntemleri, T eşik değerine bağlı olan LM ve Ey süzgeçler değerlendirilmektedir (Beşdok ve ark., 2004). Bu tür gürültü belirleme yönteminde, gürültülü görüntüdeki piksel değeriyle OS uygulanmış görüntüdeki piksel değeri arasındaki mutlak fark, T eşik değerinden büyükse pikselin gürültü olduğuna karar verilmektedir. Dürtü gürültülü pikselleri bulmak için Kolmogorov-Smirnov testinden yararlanılan k-UBS sonucu verilmektedir (Çivicioğlu, 2007). Bu sonuçlar, tezde önerilen ŞOS, ŞDYOS, ŞDYOBS, DYOS ve DYOBS sonuçlarıyla karşılaştırılmaktadırlar. ŞDYOS5 ve ŞDYOBS5, süzgeç algoritması uygulanırken, 3x3'lük pencerede sağlam piksel kalmadığında 5x5 piksel boyutlu pencerenin kullanılmasıyla oluşturulan süzgeçlerdir.



Şekil 4.17. a) Asıl Lena görüntüsü b) %40 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) MAOS e) AnOS f) ÜDOS g) ÇDOS (Baştürk ve Yüksel, 2005) h) GAS i) DS (Beşdok ve ark., 2005) j) BS-Kİ k) BS-Dİ l) BS-Kül (Çivicioğlu ve Alçı, 2004) m) ŞOS n) ŞDYOS o) ŞDYOBS p) ŞDYOS5 r) ŞDYOBS5 s) DYOS t) DYOBS kullanılarak elde edilen görüntüler

Şekil 4.17'den görüleceği üzere; OS, MAOS, AnOS, ÜDOS, ÇDOS ve ŞOS çıkışında oluşan görüntülerde; gürültülü pikseller, fazla miktarda mevcuttur. Çizelge 4.3'ten görüleceği gibi bu süzgeçlere ilişkin MSE değerleri, karşılaştırmada kullanılan diğer süzgeçlere göre çok büyüktür.

Çizelge 4.3. %40 tuz ve biber gürültülü Lena görüntüsüne ait MSE değerleri

Süzgeç türü	MSE
OS	1002.38
ÇDOS	3875.15
ÜDOS	1795.06
MAOS	1730.31
GAS	14.00
BS-Dİ	78.9
BS-Kİ	69.04
BS-Küİ	91.22
DS	119.42
k-UBS	117.32
LM	257.26
Ey	268.14
ŞOS	632.49
ŞDYOS	60.25
ŞDYOBS	60.13
ŞDYOS5	60.77
ŞDYOBS5	57.42
DYOS	152.88
DYOBS	165.65

Görsel ve MSE olarak karşılaştırma yapıldığında başarımların sıralaması; GAS, ŞDYOBS5, ŞDYOBS, ŞDYOS, ŞDYOS5, BS-Dİ, BS-Kİ, BS-Küİ, k-UBS, DS, DYOS, DYOBS, LM, Ey, ŞOS, OS, MAOS, ÜDOS, ÇDOS biçimindedir. ŞOS hariç önerilen süzgeçlerin hata değerinin, birbirine çok yakın ve çizelgedeki çoğu süzgeçinkinden daha küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4'te bu çalışmada önerilen süzgeçlerin analiz süreleri verilmektedir. ŞDYOS'in analiz süresi, en kısa olarak belirlenmektedir.

Çizelge 4.4. %40 tuz ve biber gürültülü Lena görüntüsüne ait analiz süreleri

Süzgeç türü	Süre[s]
ŞOS	0.12
ŞDYOS	5.453
ŞDYOBS	8.047
ŞDYOS5	5.484
ŞDYOBS5	8.157

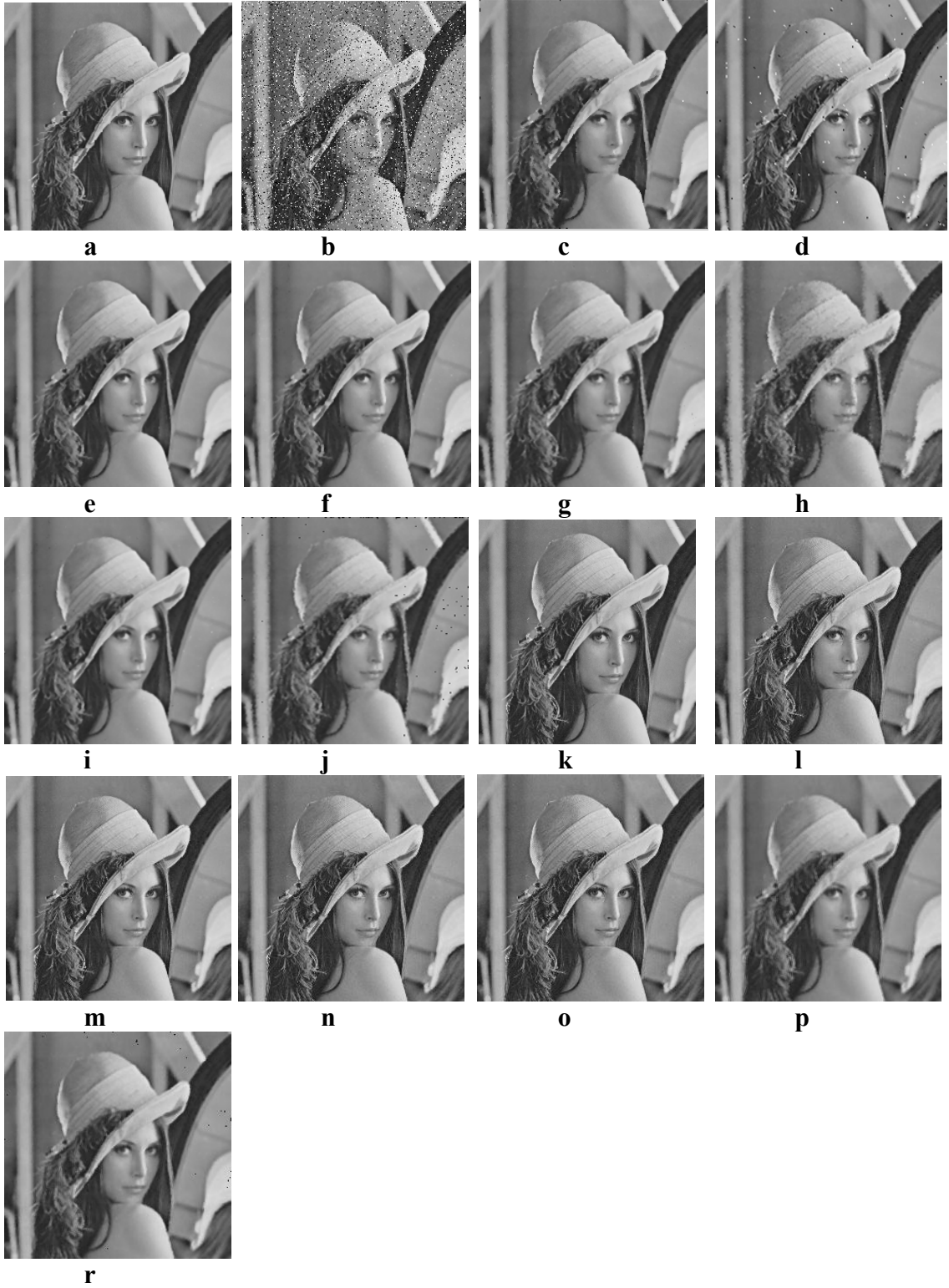
Örnek 4.16 ve Örnek 4.17’de sırayla, %10 ve %30 tuz ve biber gürültüsü içeren Lena görüntülerine; OS, bu çalışmada geliştirilen süzgeçler ve literatürde var olan yedi tane bulanık süzgeç uygulanmaktadır. Yeni bulanık süzgeç algoritmasına sahip ŞDYOBS’in, bilinen bulanık süzgeçlere göre çok daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Aynı zamanda ŞOS ve ŞDYOS de diğer süzgeçlere göre çok iyi sonuçlar vermektedirler.

Örnek 4.16

% 10 oranında tuz ve biber gürültüsü içeren Lena görüntüsüne uygulanan OS, tezde önerdiğimiz ŞOS, ŞDYOS, ŞDYOBS, ŞDYOS5, ŞDYOBS5 ve literatürdeki bulanık süzgeçlerin sonuçları, Şekil 4.18’de verilmektedir. Süzgeç başarımları, sayısal olarak Çizelge 4.5’te verilmektedir.

Görsel ve MSE olarak karşılaştırma yapıldığında, ŞDYOBS’in en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Bunu ŞDYOBS5, ŞDYOS, ŞDYOS5 ve ŞOS izlemektedir.

Görüntünün her pikseline uygulanan DYOS ve DYOBS, ÜOr ve GOr hariç literatürdeki bulanık süzgeçlerden daha küçük MSE değerlerine sahiptirler. Bu, geliştirilen süzgeç algoritmalarının tüm piksellere uygulandığında bile başarılı olduklarını göstermektedir.



Şekil 4.18.a) Lena görüntüsü **b)** %10 tuz ve biber gürültülü görüntü **c)** OS **d)** BÇSOS **e)** GO **f)** ÜO **g)** AÜO **h)** GOr **i)** ÜOr **j)** AÜOr (Nachtegael ve Kerre, 2000) **k)** ŞOS **l)** ŞDYOS **m)** ŞDYOBS **n)** ŞDYOS5 **o)** ŞDYOBS5 **p)** DYOS **r)** DYOBS kullanılarak elde edilen görüntüler

Çizelge 4.5. %10 tuz ve biber gürültülü Lena görüntüsüne ait MSE değerleri

Süzgeç türü	MSE
OS	88.25
BÇSOS	171.78
GO	96.09
ÜO	98.26
AÜO	125.87
GOr	116.06
ÜOr	105.97
AÜOr	145.92
ŞOS	13.76
ŞDYOS	12.5
ŞDYOBS	6.36
ŞDYOS5	13.39
ŞDYOBS5	11.12
DYOS	123.57
DYOBS	118.81

Örnek 4.17

%30 oranında dürtü gürültüsü içeren görüntüye uygulanan OS, tezde önerdiğimiz ŞOS, ŞDYOS, ŞDYOBS ve literatürdeki bulanık süzgeçlerin sonuçları, Çizelge 4.6'da verilmektedir (Nachtegael ve Kerre, 2000).

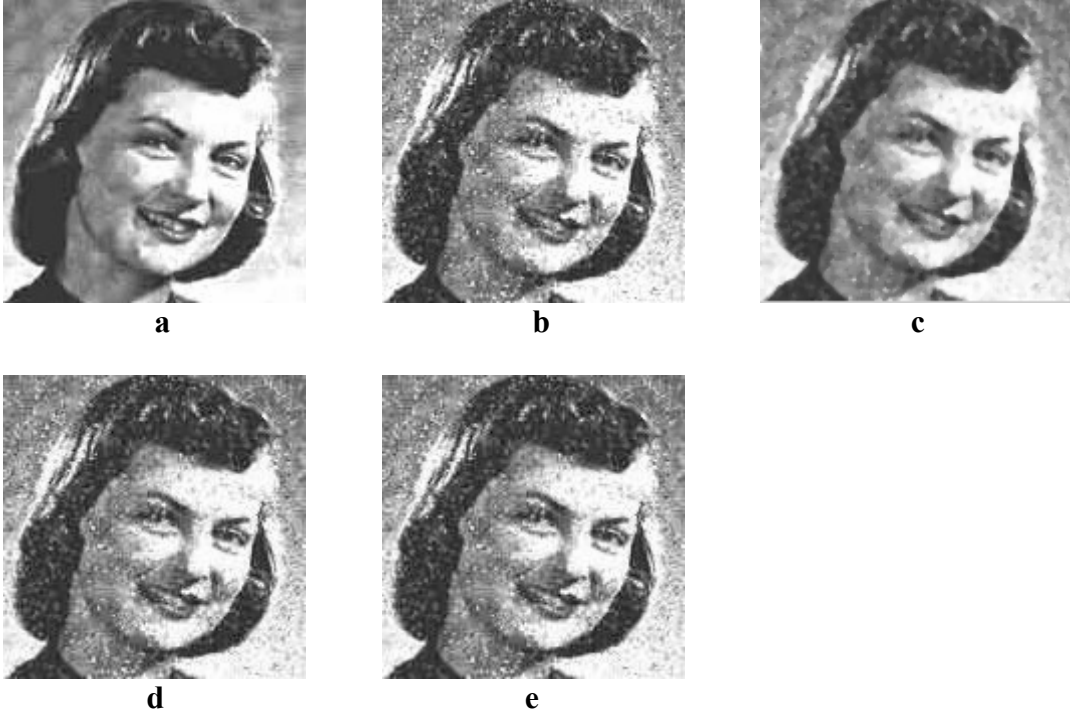
Çizelge 4.6. %30 tuz ve biber gürültülü Lena görüntüsüne ait MSE değerleri

Süzgeç türü	MSE
OS	387.44
GO	367.21
ÜO	386.14
AÜO	319.19
GOr	520.4
ÜOr	382.35
AÜOr	142.49
ŞOS	194.82
ŞDYOS	43.02
ŞDYOBS	40.21
ŞDYOS5	41.86
ŞDYOBS5	40.54
DYOS	140.68
DYOBS	133.61

Karşılaştırma sonuçları, tezde önerdiğimiz ŞDYOBS'in en iyi başarımı sağladığını göstermektedir. Buna en yakın başarıyı, ŞDYOBS5 tarafından sağlanmaktadır.

Örnek 4.18

Şekil 4.19.a ve b'de, asıl (151x151) ve %5 tuz ve biber gürültülü görüntüler yer almaktadır. Bu iki görüntü, literatürden elde edilmiştir (Panakulchaiwit ve Atdiratanakul, <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1997/ts9/ts9004pf.htm>, 17.11.2009). %5 oranında dürtü gürültüsü içeren görüntüye uygulanan OS, tezde önerdiğimiz ŞDYOS, ŞDYOBS sonuçları, Şekil 4.19.c, d ve e'de verilmektedir.



Şekil 4.19. a) Asıl görüntü b) %5 tuz ve biber gürültülü görüntü c) OS d) ŞDYOS e) ŞDYOBS kullanılarak elde edilen görüntüler

Çizelge 4.7. %5 tuz ve biber gürültülü görüntüye ait MSE değerleri

Süzgeç türü	MSE
OS	1008.8
ŞDYOS	306.3411
ŞDYOBS	306.0077

Örnek 4.19

%40 dürtü gürültülü 256x256 piksel boyutlu Lena görüntüsünde, 0 ve 255 gri seviye değerli piksellerin gürültü olup olmadığını belirlemek için ki-kare uygunluk testi uygulanmaktadır. Görüntü, 32x32 piksel boyutlu alt görüntülere ayrılmaktadır. Çizelge 4.8'deki gibi frekans dağılımı oluşturulmaktadır. Bunun için, her bir alt görüntüde 255 değerli piksellerin sayısı belirlenmektedir. Bu miktarlar yardımıyla $m=12$ tane sınıf oluşturulmaktadır. Her bir sınıftan kaç tane alt görüntü olduğunu gösteren, gözlenen frekanslar belirlenmektedir. Ortalama değer ve standart sapma, (2.3) ve (2.4) eşitliklerinden $\bar{X} = 200.44$ ve $S=11.83$ olarak hesaplanmaktadır. Her bir sınıfa ilişkin normal eğri altındaki alan ve her sınıfa ait alan hesaplanmaktadır. Beklenen frekanslar, her sınıfa ait alanın tek tek toplam frekans (64) ile çarpılmasıyla bulunmaktadır.

Çizelge 4.8. 255 değerli piksel miktarlarının alt görüntü sayısına göre dağılımı

Sınıf	Gözlenen frekans (g_i)	Normal eğri altındaki alan	Beklenen frekans (b_i)
167	1	0.9976	1
172	1	0.9919	1
177	2	0.9762	2
182	2	0.9405	4
187	3	0.872	7
192	8	0.7622	9
197	15	0.6144	11
202	6	0.4475	10
207	10	0.2896	8
212	9	0.1642	5
217	5	0.0807	3
222	2	0.0342	1

(2.2) eşitliğinden $\chi^2=12.47$ hesaplanmaktadır. 0 değerli gri seviye için benzer işlemler yinlendiğinde $\chi^2=9.86$ olarak hesaplanmaktadır. $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyi ve $s.d=m-3=12-3=9$ serbestlik derecesi için $\chi^2_{\text{tablo}}=16.92$ bulunmaktadır. Hesaplanan χ^2 değerleri, tablodaki değerden küçük oldukları için H_0 hipotezleri kabul edilmektedir. Bu durum, 0 ve 255 gri seviye değerli piksellerin, normal dağılımlı olup dürtü gürültüsüyle bozulmuş olduklarını göstermektedir.

5. TARTIŞMA

Örnek 4.1,..., Örnek 4.14'te, %10, ..., %70 oranında gürültü eklenmiş Lena ve kameraman görüntülerindeki gürültü giderilmektedir. Gürültülü görüntülere OS ve tezde önerilen ŞOS, ŞDYOS, ŞDYOBS uygulanmaktadır. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'den görüldüğü üzere Lena görüntüsü için %10, ..., %40; kameraman görüntüsü için %10, ..., %50 oranında gürültülü görüntüler için başarımların sıralaması; ŞDYOBS, ŞDYOS ve ŞOS'tir. Gürültü arttığındaki başarımların sıralamasıysa ŞDYOS, ŞDYOBS ve ŞOS'tir. %10, ..., %50 gürültülü Lena görüntüsü için; %10, ..., %70 gürültülü kameraman görüntüsü için başarımların sıralaması; ŞDYOBS5, ŞDYOS5'tir. %60 ve %70 gürültülü Lena görüntüsü için tam tersi sıralama vardır. Büyük gürültü yoğunluklarında, ŞDYOS5 ve ŞDYOBS5'in, ŞDYOS ve ŞDYOBS'e göre daha iyi sonuç verdikleri görülmektedir. Çünkü, artan gürültü miktarı maske boyutu artırılarak yok edilmeye çalışılmaktadır.

ŞDYOBS'teki bulanık küme yapısı, süzgeç başarımlarını artırmaktadır. Çünkü, bulanık kümenin ikili mantıktan uzak, genel yapısı vardır. Tepe değeri dört yönlü ortalama değer olan bulanık kümeyle penceredeki piksellerin ağırlıkları bulunmaktadır. Piksel değerleri ve ağırlıklar, gürültülü pikselin yeni değerini bulurken kullanılmaktadırlar. ŞDYOS, 3x3 piksel boyutlu penceredeki komşularda gri seviye tutarlılığı olduğu kabul edilerek geliştirilmiştir. Bu yüzden ŞDYOS, gürültüden daha az etkilenecek şekilde süzgeçleme yapmaktadır. Bu özelliği, ŞOS'ten daha iyi sonuçlar vermesine sebep olmaktadır. ŞDYOS'in başarımlarının yüksek olması, merkez değerini oluşturduğu bulanık süzgecin performansını da iyi yönde etkilemektedir. Bunu destekleyecek şekilde, %40 veya %50'ye kadar olan gürültü yoğunluklarında önerdiğimiz ŞDYOBS'in başarımlarının yüksek olduğu örneklerden görülmektedir. Bu yüzden %10,..., %40 (%50) oranında gürültü içeren görüntülerde, ŞDYOBS kullanmak iyi sonuçlar vermektedir. Daha fazla gürültü içeren görüntülerdeyse ŞDYOS, önerdiğimiz ŞDYOBS'e göre daha küçük MSE değeri vermektedir. Çünkü, gürültü arttığı için sağlam pikseller yardımıyla elde edilecek bulanık küme yapısı zayıflamaktadır. Böylece, gürültülü merkez pikselin yeni değeri, hata payına sahip olarak hesaplanmaktadır.

Örnek 4.7'de, %70 dürtü gürültüsü içeren Lena görüntüsü bulunmaktadır. Şekil 4.7'deki gürültülü görüntüde, OS ve ŞOS sonuçlarında Lena görüntüsü belirgin değildir. Ama ŞDYOS ve ŞDYOBS sonuçlarında görüntülerin net olmamakla beraber Lena

oldukları açıkça anlaşılmaktadır. Bu durum, önerdiğimiz bu iki süzgecin verimli olduğunu ortaya koymaktadır.

Örnek 4.15'te; %40 oranında tuz ve biber gürültüsü içeren Lena görüntüsüne tezde önerilen yeni süzgeçler; ŞOS, ŞDYOS, ŞDYOBS, ŞDYOS5 ve ŞDYOBS5 uygulanmaktadır. Görsel ve MSE hata hesabı bakımından değerlendirme yapıp, literatürde yer alan süzgeçlerle karşılaştırılmaktadır. Ayrıca, DYOS, DYOBS de uygulanmakta ve diğer süzgeçlerle karşılaştırılmaktadır. Görsel ve MSE olarak karşılaştırma yapıldığında başarımların sıralaması; GAS, ŞDYOBS5, ŞDYOBS, ŞDYOS, ŞDYOS5, BS-Dİ, BS-Kİ, BS-Kül, k-UBS, DS, DYOS, DYOBS, LM, Ey, ŞOS, OS, MAOS, ÜDOS, ÇDOS biçimindedir. ŞOS hariç önerilen süzgeçlerin hata değerinin, birbirine çok yakın ve çizelgedeki çoğu süzgecinkinden daha küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4'ten görüldüğü üzere, % 40 tuz ve biber gürültülü Lena görüntüsü için analiz; OS'te 0.12 s., ŞDYOS'te 5.453 s. sürmektedir. Ama ortalama karesel hata hesabı göz önüne alınırsa; OS, 1002.38, ŞDYOS, 60.25 değerini vermektedir. Şekil 4.17.c, n ve o'dan görüldüğü üzere; OS, önerilen süzgeç sonuçları arasında belirgin farklar bulunmaktadır. Bu nedenle, OS yerine önerdiğimiz süzgeçleri kullanmak daha avantajlıdır.

GAS, Örnek 4.15'te görüldüğü üzere görsellik ve hata açısından en iyi sonucu veren süzgeçtir. GAS, gürültü belirlemede ki-kare uygunluk testi olarak adlandırılan istatistiksel yöntemi kullanmaktadır. Tezde önerilen gürültü belirleme yöntemindeyse istatistiksel bir yöntemle göre daha basit olan gürültü bulma yöntemi kullanılmaktadır. Süzgeç algoritmasının kurulmasındaki yalınlık nedeniyle ŞDYOS ve ŞDYOBS kullanımı tercih edilebilmektedir.

Gürültüsüz dama görüntüsündeki 0 ve 255 değerli piksellerin gürültü olmadıkları χ^2 uyum iyiliği testiyle belirlenebilmektedir. Çünkü; pikseller, normal dağılım oluşturmamaktadırlar. Ama; tuz ve biber gürültülü dama görüntüsünde, 0 ve 255 değerli gürültü piksellerinin sayısı görüntüden elde edilemediği için χ^2 testi, gürültü belirlemede kullanılamamaktadır.

Klasik süzgeçlerden OS, ÜDOS, ÇDOS, MAOS'lerle tezde önerilen süzgeç sonuçları arasındaki fark, belirgin şekildedir. Çünkü; bu klasik süzgeçler, gürültülü görüntünün tamamına uygulanmaktadır. Önerdiğimiz süzgeçlerse gürültü piksellerine uygulanmaktadır. Böylece sağlam pikseller aynen kalmakta, bozuk pikseller için yeni

değerler bulunmaktadır. Ayrıntılar korunarak gürültü bastırılmaya çalışılmaktadır. Örnek 4.15'teki diğer süzgeçler (GAS, DS, k-UBS, BS-Dİ, BS-Kİ, BS-KÜİ, LM, Ey) ise daha önce değinildiği biçimde gürültüyü belirledikten sonra süzgeçleme yapmaktadırlar.

Örnek 4.15'teki BS-Dİ, BS-Kİ, BS-KÜİ ve bu çalışmada önerilen süzgeçlerde aynı gürültü bulma tekniği kullanılmaktadır. ŞDYOS ve ŞDYOBS, bu süzgeçlere göre daha yüksek başarımlar sağlamaktadır. Bu durumun gürültü belirleme yönteminden değil süzgeçleme algoritmalarından kaynaklandığı açıkça görülmektedir.

Tezde kullanılan gürültü bulma yöntemi, hızlı ve pratik olmakla birlikte yüksek doğrulukludur. Gürültü pikselleri bu yöntemle doğru ve kolay bir şekilde bulunmaktadır.

Örnek 4.16'da %10 ve Örnek 4.17'de %30 oranında tuz ve biber gürültüsü içeren Lena görüntülerine tezde önerilen yeni süzgeçler; ŞOS, ŞDYOS ve ŞDYOBS uygulanmaktadır. Görsel ve MSE hata hesabı bakımından değerlendirme yapıp literatürde yer alan bulanık süzgeçlerle karşılaştırılmaktadırlar. Ayrıca, karşılaştırmada DYOS ve DYOBS de kullanılmaktadır. Bulanık süzgeçler, tüm piksellere uygulandığı için tezde önerilen ŞDYOBS sonucuyla arasında çok fark vardır. Çünkü, ŞDYOBS'te sağlam piksellere dokunulmadığı için ayrıntılar korunarak gürültü bastırılmaktadır. Ayrıca, ŞDYOBS'teki bulanık süzgeç algoritması, ortanca ve ortalama değer yerine dört yönlü ortalama değer kullanıldığı için literatürdekilere göre daha etkilidir. Bu, DYOBS için MSE değerlerinin, diğer bulanık süzgeçlerin çoğundan küçük elde edilmesinden de anlaşılabilir. Bu durum, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da görülmektedir.

Klasik, bulanık ve tezde önerdiğimiz süzgeçlerin; görüntü türüne, komşuluk yapısına, gürültü tipine, gürültü miktarına bağlı olarak sonuçlar verebildiğini unutmamak gerekmektedir.

Literatürde ikili, gri seviye ve renkli görüntüler için farklı gürültü giderme süzgeçleri kullanılmaktadır. Tezde önerilen gürültü süzgeçleri, gri seviyeli görüntüler için kullanılmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Klasik süzgeçler, gürültülü görüntüdeki tüm piksellere uygulandığı için verimleri düşük olabilmektedir. Son yıllarda geliştirilen süzgeçler, öncelikle gürültüyü belirlemede sonra gürültüyü süzmektedir. Bu durum, zaman ve verim açısından avantaj sağlamaktadır. Bu tez çalışmasındaki süzgeçlerde de gürültü pikselleri belirlendikten sonra gürültü giderilmeye çalışılmıştır. Tezde önerilen süzgeçler, literatürdeki klasik süzgeçler ve yakın zamanda geliştirilen süzgeçlerin çoğundan daha iyi sonuç vermektedirler.

Bu çalışmada kullanılan gürültü belirleme yönteminin dışındaki gürültü belirleme yöntemleri ve önerilen süzgeçlerin ikinci aşamasını oluşturan DYOS ve DYOSB kullanılarak yeni süzgeçler oluşturulabilecektir.

3x3 piksel boyutlu maske kullanan süzgeçlerle daha fazla gürültü bastırmak için maske boyutu artırılabilir. Ama, gürültü arttığında bozuk pikselin yeni değerini kestirmek için daha çok sağlam pikselin kullanılmasının yanında pencere boyutu arttıkça hatanın yükselme sorunu ortaya çıkabilecektir. Çünkü, pencere boyutu arttığında bozuk pikselden daha uzaktaki sağlam piksel değerleri de işleme katıldığı için süzgeç çıkışı hatalı olabilecek ve bulanıklık oluşabilecektir. Daha büyük boyutlu pencere kullanmak yerine 3x3'lük süzgeç penceresini yinelemek daha iyi sonuçlar verebilecektir.

Bölüm 2.3'te, literatürde yer alan Gauss bulanık süzgeç, simetrik ve simetrik olmayan üçgen bulanık süzgeçlerden bahsedilmektedir. Tezde önerdiğimiz süzgeç, simetrik üçgen bulanık küme esasına dayanmaktadır. Asimetrik üçgen bulanık küme esas alınarak şartlı dört yönlü ortalama değer merkezli asimetrik üçgen bulanık süzgeç elde edilebilir. Ayrıca, şartlı dört yönlü ortalama değer merkezli Gauss bulanık süzgeç geliştirilebilir. Bu süzgeçlerin hesap yoğunluğu fazla olduğu için bu çalışmada tercih edilmemektedir. Ama literatürde AÜO, AÜOr, GO, GOr'in, ÜO ve ÜOr'e göre üstün olduğu örneklere rastlanmaktadır. Bu nedenle, başka bir çalışmada asimetrik ve Gauss biçimli bulanık kümeleri içeren şartlı bulanık süzgeçler geliştirilebilir.

Gürültü miktarı, önerilen süzgeçlerin verimlerini etkilemektedir. Aynı görüntüye ilişkin farklı gürültü miktarlarındaki başarımların sıralaması aynı olmamaktadır. Lena'ya ilişkin Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere; en iyi başarımları, %10 gürültülü görüntüde ŞDYOSB, %30 gürültülü görüntüde ŞDYOS vermektedir.

Görüntünün özelliği örneğin ayrıntıların, kenarların az veya çok olması süzgeç sonucunu etkilemektedir. İnsan yüzü ve peyzaj bir görüntüye uygulanan bir süzgecin verimi aynı olmayabilmektedir.

Süzgeç sonuçları; görüntü yapısı, komşuluk boyutu ve gürültü miktarına bağlı olduğu için süzgeçleri deneyerek sonuçlara bakmak yararlı olabilmektedir. Çünkü, görüntü iyileştirmede her zaman geçerli olan kural, en iyi sonucun deneme yanılma yöntemiyle bulunmasıdır (Özalp, 2009). Bu yüzden, hangi süzgecin daha iyi sonuç verdiğini belirlemeden önce ampirik yani deneysel bir süreç oluşabilmektedir.

Görüntülerdeki gürültü giderimi; ikili, gri seviye ve renkli görüntüler için farklılık göstermektedir (Andreadis ve ark., 2004). Bu tezde önerilen yöntemler, gri seviye görüntülere ilişkindir.

Metin ve çizim analizi, endüstriyel kontrol, medikal görüntüleme için ikili görüntülerden yararlanılmaktadır (Aksoy, 2009). İkili görüntülerdeki tuz ve biber gürültüsünü gidermek için OS kullanıldığında ayrıntılar zarar görmektedir. İkili görüntülerdeki tuz ve biber gürültüsünü gidermek için literatürde; morfoloji (genleşme ve aşınma), kFill süzgeç, TAMD (TrackAndMayDel),... gibi yöntemler vardır (Chinnasarn ve ark., 1998; Khaffaf ve ark., 2008).

Renkli görüntülerde, dürtü gürültüsü olarak adlandırılan gürültü, gri seviye görüntülerdekinden farklılık göstermektedir (Deepti ve ark., 2008; Boudabous ve ark., 2007). Gürültülü renkli görüntü, gri seviye görüntülerdeki gibi siyah ve beyaz piksellerle bozulmamaktadır. Renkli görüntülerdeki dürtü gürültüsünü gidermek için kullanılan sıra düzenli süzgeçler; işaret bağımlı sıra düzenli ortalama süzgeç, vektör ortanca süzgeç, α kesimli vektör ortanca süzgeç, çapraz seviye ortanca ortalama süzgeç, ağırlıklı vektör ortanca süzgeç, vektör yönlü süzgeç, yönlü uzaklık süzgeç ve hibrit yönlü süzgeçtir (Abreu ve ark., 1996; Barner ve Arce, 2004). Ayrıca; merkez ve komşu pikseller arasındaki farkın tolerans değeriyle karşılaştırılarak gürültülü pikselin belirlendiği, vektör sıra düzenli süzgeç mevcuttur (Lukac, 2002). Aynı yöntemle gürültülü pikseller belirlendikten sonra interpolasyon yöntemi kullanılarak renkli görüntülerdeki dürtü gürültüsünün giderilmesi amacıyla çalışmalar yapılmıştır (Wakabayashi ve Taguchi, 2005; Wakabayashi ve Taguchi, 2006).

Dürtü gürültüsünün giderilmesinde yararlanılacak görüntü işleme yazılım araçları mevcuttur. Bunların arasında, ticari özellik taşıyan ve taşımayan yazılım paketleri bulunmaktadır. Ücretsiz yazılım uygulamalarından bazıları şunlardır: MMACH,

SUSAN, ImageJ, NIH, FP Image, Image Components, CMask Operation, Filters, CVIPTools, CImg, Blepo, Image Processing Lab, DIPLib, Roborealm, Tnimage, Photoscape, Vista Restore, IrfanView, Leptonica ve Adoculos (<http://peipa.essex.ac.uk/info/software.html>, 28.10.2009). Ticari yazılım uygulamalarından bazıları; Adobe Photoshop, Analysis Software, AForge, PivView, PixTwix, Imaging Primer, Eye Candy, Photo Stamp Remover, Labview, Ransen Software Repligator Filter, Helicon Filter, EasyImage, Phyton, Orchid, IMAQ Vision, Leadtools ve The Image Processing Tool Kit (<http://www.machine-vision.eu/22-1-Machine+Vision+Libraries.html>, 1.11.2009; www.roborealm.com/links/vision-software.php, 1.11.2009; <http://www.ransen.com/repligator/Noise-Effect.htm>, 25.11.2009; http://www.aforgenet.com/framework/features/noise_generation_filters.html, 25.11.2009). Gimp adlı ücretsiz yazılım, tuz ve biber gürültüsündeki beyaz pikselleri sıkışmış, siyah pikselleri ölmüş piksel olarak adlandırmaktadır. 0 ve 255 değerli pikselleri gürültü olarak kabul edip 'dead pixel test' adlı programla gürültülü pikselleri yok etmektedir (<http://gimps.de/en/tutorials/gimp/picture-photo-image>, 10.11.2009).

7. KAYNAKLAR

- Abreu, E., Lightstone, M., Mitra, S.K., Arakawa, K., 1996. A new efficient approach for the removal of impulse noise from highly corrupted images. *IEEE Transactions on Image Processing*, 5(6), 1012-1025.
- Aforge, 2000. Noise generation filters. http://www.aforgenet.com/framework/features/noise_generation_filters.html 25.11.2009.
- Akar, E., 2006. Tarihi Görüntülerin Kalitesinin Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Artırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 128 s.
- Aksoy, S., 2009. Binary image analysis. http://www.cs.bilkent.edu.tr/~saksoy/courses/cs484Spring2009/slides/cs484_binary.pps 25.11.2009.
- Altınışık, P., Sezgin, H., Ergün, E., 2008. Tuz ve biber gürültüsünü gidermek için şartlı ortanca süzgeç uygulaması. *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu*, 15-17 Ekim, Eskişehir.
- Altınışık, P., Sezgin, H., 2009. Tuz ve biber gürültüsünü gidermek için şartlı dört yönlü ortalama süzgeç uygulaması. *İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu*, 15-16 Ekim, Adana.
- Andreadis, I, Louverdis, G., Chatzianagnostou, S., 2004. New fuzzy color median filter. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 41, 315-330.
- Bankman, I.N., 2000. *Handbook of Medical Imaging Processing and Analysis*. Academic Press, 910 s, San Diego.
- Barner, K.E., Arce, G.R., 2004. *Nonlinear Signal and Image Processing*. CRC Press, 535 s, London.
- Baştürk, A., Yüksel, M.E., 2005. Neuro-fuzzy soft switching hybrid filter for impulse noise removal from digital images. *IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, Proceedings*, 16-18 Mayıs, Kayseri, Türkiye.
- Baştürk, A., 2006. Esnek Hesaplamaya Dayalı Yöntemler ile Sayısal İmgelerde Gürültü Giderimi ve İmge İyileştirme. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 129 s.
- Baştürk, A., Yüksel, M.E., 2006. SAR imgeler için speckle gürültüsü giderici bulanık sinir ağı yöntemi. *ELECO Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*. 6-10 Aralık, Bursa.
- Baştürk, A., Yüksel, M.E., 2006. A generalized neuro-fuzzy filter for removing different types of noise in digital images by single operator. *IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference*, 17-19 Nisan, Antalya.
- Berry, R., Burnell, J., 2000. How to assemble CCD image. <http://www.astrosurf.com/jwisn/basics.htm> 17.11.2009.
- Beşdok, E., 2004. A new method for impulsive noise suppression from highly distorted images by using Anfis. *Science Direct, Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 17, 519-527.
- Beşdok, E., 2004. Impulsive Noise Suppression from Images by Using Anfis Interpolant and Lillietest. *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 16, 2423-2433.

- Beşdok, E., Çivicioğlu, P., Alçı, M., 2004. Impulsive noise suppression from highly corrupted images by using resilient neural networks. International Conference Artificial Intelligence and Soft Computing, ICAISC. 7-11 Haziran, Zakopane, Polonya.
- Beşdok, E., Yüksel, M.E., 2005. Impulsive noise suppression from images with Jarque-Bera test based median filter. Science Direct, International Journal of Electronics Communications, 59, 105-110.
- Beşdok, E., Alçı, M., Çivicioğlu, P., 2005. Using fast backpropagation algorithms for impulsive noise reduction from highly distorted images. Micro-Nano Mechatronics and Human Science, IEEE International Symposium. 7-9 Kasım, Nagoya, Japonya.
- Beşdok, E., Çivicioğlu, P., Alçı, M., 2005 a. Using Anfis with circular polygons for impulsive noise suppression from highly distorted images. Science Direct, International Journal of Electronics Communications, 59, 213-221.
- Beşdok, E., Çivicioğlu, P., Alçı, M., 2005 b. Using an adaptive neuro-fuzzy inference system-based interpolant for impulsive noise suppression from highly distorted images. Science Direct, Fuzzy Sets and Systems, 150, 525-543.
- Boudabous, A., Atitallah, A., Kadionik, P., 2007. HW/SW FPGA implementation of vector median filter. Microelectronics and Electronics Conference. 2-5 Temmuz, Bordo, Fransa.
- Boyraz, A., Kurban, R., Gürbüz M., 2005. Endüstriyel ürünlerde bilgisayar destekli kalite kontrol ve hata tespiti. <http://www.teknohaber.net/endüstriyel.html> (19.12.2006).
- CCD Imaging Fundamentals, 2009. Astrophotography. http://www.rocketroberts.com/astro/ccd_fundamentals.htm (12.11.2009).
- Chan, R., Ho, C., Nikolova, M., 2005. Salt and pepper noise removal by median type noise detectors and detail preserving regularization. IEEE Transactions on Image Processing, 14, 1479-1485.
- Chen, T., Ma, K.K., Chen, L.H., 1999. Tri-state median filter for image denoising. IEEE Transactions on Image Processing, 8(12), 1834-1838.
- Chen, T., Wu, H.R., 2000 a. Impulse noise removal by multi-state median filtering. ICASSP 2000, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. 6-9 Haziran, İstanbul, Türkiye.
- Chen, T., Wu, H.R., 2000 b. A new class of median based impulse rejecting filters. IEEE International Conference on Image Processing, 1, 916-919.
- Chen, T., Wu, H.R., 2001. Space variant median filters for the restoration of impulse noise corrupted images. IEEE Transactions Circuits and Systems, 48(8), 784-789
- Chi, Z., Yan, H., Pham, T., 1996. *Fuzzy Algorithms with Applications to Image Processing and Pattern Recognition*. World Scientific, 225 s, Singapore.
- Chinnasarn, K., Rangsanseri, Y., Thitimajshima, P., 1998. Removing salt and pepper noise in text/graphics images. IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems. 24-27 Kasım, Chiangmai, Tayland.

- Choi, Y.S., Krishnapuram, R., 1997. A robust approach to image enhancement based on fuzzy logic. *IEEE Transactions on Image Processing*, 6(6), 808-825.
- Çivicioğlu, P., Alçı, M., 2003. Güvenli iletişim için veri gizleme tekniklerinin kullanımı. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, 18-21 Eylül, İstanbul, Türkiye.
- Çivicioğlu, P., Alçı, M., 2004. Impulsive noise suppression from highly distorted images with triangular interpolants. *Science Direct, International Journal of Electronics Communications*, 58, 311-318.
- Çivicioğlu, P., Alçı, M., Beşdok, E., 2004. Impulsive noise suppression from images with the Noise exclusive filter. *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 16, 2434-2440.
- Çivicioğlu, P., 2005. Using LM artificial neural networks and closest pixels for impulsive noise suppression from highly corrupted images. *Second International Symposium on Neural Networks*, ISSN. 30 Mayıs-1 Haziran, Chongqing, Çin.
- Çivicioğlu, P., Alçı, M., 2005. Suppression of Impulse Noise from Digital Images by Using the Designed Current Conveyor Based Filter. *IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference*, 16-18 Mayıs, Kayseri, Türkiye.
- Çivicioğlu, P., Alçı, M., 2006. Sayısal imgelerdeki dürtü gürültüsünün giderilmesi için yeni bir süzgeç. *IEEE 14. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Konferansı SIU2006*, 17-19 Nisan, Antalya, Türkiye.
- Çivicioğlu, P., 2007 a. Using neighborhood-pixels- information and ANFIS for impulsive noise. *Science Direct, Int. J. Electron. Commun.*, 61,657 -664.
- Çivicioğlu, P., 2007 b. Using uncorrupted neighborhoods of the pixels for impulsive noise suppression with ANFIS. *IEEE Transactions on Image Processing*, 16(3), 759-773.
- Deepti, G., Borker, M.V., Sivaswamy, J., 2008. Impulse noise removal from color images with Hopfield neural network and improved vector median filter. *Computer Vision, Graphics and Image Processing, Sixth Indian Conferences*, 16-19 Aralık, Bhubaneswar, Hindistan.
- Digital Photography, 2005. Salt and pepper filter. <http://www.dma.org/photosig> (17.11.2009)
- Filho, O.M., Neto, H.V., 1999. *Processamento Digital de Imagens*. Brasport, 716 s, Portekiz.
- Fisher, B., Perkins S., Walker A., 2000. Hypermedia image processing. <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/filtops.htm> (5.10.2009)
- Forero, M.G., Delgado, L.J., 2003. Fuzzy filter for noise removal, *Fuzzy Filters for Image Processing*. (Editörler: M. Nachtgael, D. Weken), s:3-39, Springer, Berlin.
- Forum, 2008. Radar Sistemleri. <http://www.fmtr.com> (16.11.2009)
- Gimp Photo Software, 2000. Reduce noise. <http://gimps.de/en/tutorials/gimp/picture-photo-image> (10.11.2009).

- Gonzalez, R.C., Woods, R.E., 2002. *Digital Image Processing*. Prentice Hall, 791 s, New Jersey.
- Gonzalez, R.C., Woods, R.E., Eddins, S.L., 2004. *Digital Image Processing Using Matlab*. Prentice Hall, 609 s, New Jersey.
- Greenberg, R. 1992. Scanning the images of science. *The Science Teacher* 59 (8),14-18.
- Göçeri, E., Yaldir, A.K., 2006. Çok boyutlu görüntüler için JPEG2000 standardını destekleyen görüntü işleme uygulaması. Akademik Bilişim Konferansı, Denizli.
- Guoping, Q., 1996. An improved recursive median filtering scheme for image processing. *IEEE Transactions on Image Processing*, 5 (4), 646-648.
- Güllü, K., Ertürk, S., 2003. Bulanık süzgeç ile görüntü stabilizasyonu. 11.Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, İstanbul.
- İstatistik Analiz, 2005. Örneklem büyüklüğünün saptanması. http://www.istatistikanaliz.com/orneklem_buyuklugunun_saptanmasi.asp (29.12.2009)
- Janesick, J., 2003. Developments and applications of high-performance CCD and CMOS imaging arrays. <http://arjournals.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.nucl.53.041002.110431> (17.11.2009)
- Kaisar, S., Rijwan, S., Mahmud, J., 2008. Salt and pepper noise detection and removal by tolerance based selective arithmetic mean filtering technique for image restoration. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 8, 271-280.
- Khaffaf, H., Talib, A.Z., Salam, R.A., 2008. Removing salt and pepper noise from binary images of engineering drawings. *International Conference on Pattern Recognition*, 8-11 Aralık, Florida, ABD.
- Klir, G.J., Folger, T.A., 1988. *Fuzzy Sets, Uncertainty and Information*. Prentice Hall, 355 s, New Jersey.
- Ko, S.J., Lee, Y.H., 1991. Center weighted median filters and their applications to image enhancement. *IEEE Transactions Circuits and Systems*, 38(9), 984-993.
- Kosko, B., Isaka, S., 1993. Puslu mantık. *Bilim Dergisi*, 1, 56-61.
- Kwan, H., Cai, Y., 2002. Fuzzy filters for image filtering. *IEEE Circuits and Systems*, 3, 672-675.
- Kwan, H.K., 2003. Fuzzy filters for noisy image filtering. *IEEE Transactions Image Processing*, 7, 161-164.
- Lee C.S., Hsu, C.H., Kuo, Y.H., 2002. Intelligent fuzzy image filter for impulse noise removal. *Fuzzy Systems, FUZZ-IEEE'02, Proceedings of the 2002 International Conference*, New Jersey.
- Liu, S., Chen, H., Yang, S., 2008. An effective filtering algorithm for image salt and pepper noises based on cellular automata. *Congress on Image and Signal Processing*, Tianjin, Çin.
- Low, A., 1991. *Introductory Computer Vision and Image Processing*. McGraw-Hill Book, 243 s, Cambridge.

- Lukac, R., 2002. Vector order-statistics for impulse detection in noisy color image sequences. IEEE International Symp. on Video / Image Processing and Multimedia Communications, 16-19 Haziran, Zagreb, Hırvatistan.
- Luo, W., 2007. An efficient algorithm for the removal of impulse noise from corrupted image. International Journal of Electronics Communications. 61, 551-555.
- Machine Vision, 2004. Software developments. <http://www.machine-vision.eu/22-1Machine+Vision+Libraries.html> (1.11.2009).
- Nachtegaele, M., Weken, D., 2001. An overview of fuzzy filters for noise reduction. IEEE International Fuzzy Systems Conference. 25-30 Eylül, Kuşadası, Türkiye.
- Nachtegaele, M., Kerre, E.E., 2000. *Fuzzy Techniques for Image Processing*. Springer, 412 s, Berlin.
- Nachtegaele, M., Weken, D., Ville, D., 2003. *Fuzzy Filters for Image Processing*. Springer, 386 s, Berlin.
- Nachtegaele, M., Schulte, S., Weken, D., 2005. Fuzzy filters for noise reduction: the case of Gaussian noise. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, London.
- Nallaperumal, K., Varghese, J., Saudia, S., 2007. A new adaptive class of filter operators for salt and pepper impulse corrupted images. International Journal of Imaging Science and Engineering, 1, 44-51.
- National Instruments, 2006. Image analysis and processing. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3470> (12.01.2007).
- Nixon M.S., Aguado, A.S., 2002. *Feature Extraction and Image Processing*. Newnes Print, 360 s, Boston.
- Okatan, B., 2007. Uyum İyiliği İçin Damico Tek-Örnek Testi ve Diğer Uyum İyiliği Testleri ile Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 93 s.
- Oktay, E., 1990. Ki-Kare Dağılımı ve Uygulama Alanları. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, 93 s.
- Özalp, M., 2009. İmge iyileştirme. http://web.bilecik.edu.tr/murat_ozalp/files/imge-iyilestirme-sunu.pdf (11.11.2009)
- Panakulchaiwit, N., Atdiratanakul, D., 1997. Adaptive multi-shell median filter for improving image quality. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1997/ts9/ts9004pf.htm> (24.11.2009)
- Peipa, 2004. Computer vision software. <http://peipa.essex.ac.uk/info/software.html> (28.10.2009).
- Petersen, M.E., Ridder, D., Handels, H., 2002. Image processing with neural networks. Pattern Recognition, 35, 2279-2301.
- Pham, T.D., 2001. An image restoration by fusion. Pattern Recognition, 34, 2403-2411.
- Pok, G., Liu, J.C., 2003. Selective removal of impulse noise based on homogeneity level information. IEEE Transactions on Image Processing, 12, 85-92.
- Ransen Software, 2009. Repligator filter. <http://www.ransen.com/repligator/Noise-Effect.htm> (25.11.2009).

- Roborealm, 2008. Vision for machines. www.roborealm.com/links/vision-software.php (1.11.2009).
- Ross, T. J., 1996. *Fuzzy Logic With Engineering Applications*. New Mexico University Press, 776 s, New Mexico.
- Russ, J.C., 2002. *The Image Processing Handbook*. CRC Press, 771 s, London.
- Russo F., Ramponi, G., 1996. A fuzzy filter for images corrupted by impulse noise. *IEEE Signal Processing Letters*, 3(6), 168-170.
- SBIG Astronomical Instruments, 2003. CCDOps. http://www.physics.uci.edu/observat/CCDOps_User_Guide_Nov2003.pdf 13.11.2009.
- Schneider, M., Craig, M., 1992. On the use of fuzzy sets in histogram equalization. *Elsevier, Fuzzy Sets and Systems*, 45(3), 271-278.
- Schulte, S., De Witte, V., Nachtegael, M., 2006. Fuzzy two-step filter for impulse noise reduction from color images. *IEEE Transactions on Image Processing*, 15(5), 1153-1162.
- Shihab, A.I., 2000. *Fuzzy Clustering Algorithms and Their Application to Medical Image Analysis*. Doktora Tezi, University of London, London, 169 s.
- Sivanandam, C., 1998. The lunar surface. <https://ritdml.rit.edu/dspace/bitstream/1850/5797/1/CSivanandamThesis05-1998.pdf> 16.11.2009.
- Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R., 2003. *Image Processing, Analysis and Machine Vision*. Chapman and Hall, 821 s, London.
- Sun T., Neuvo Y., 1994. Detail-preserving median based filters in image processing. *Pattern Recognition Letters*, 15, 341-347.
- Takagi, H., 1992. Application of neural networks and fuzzy logic to consumer products. *IEEE Power Electronics and Motion Control, International Conference*, Boston, U.S.A.
- Teuber, J., 1993. *Digital Image Processing*. Prentice Hall, 264 s, Cambridge.
- Toprak, A., 2006. Bulanık Adaptif Medyan Filtresi Kullanarak Tıbbi Görüntülerdeki Darbe Gürültüsünün Bastırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 82 s.
- Toprak, A., 2007. Impulse noise reduction in medical images with the use of switch mode fuzzy adaptive median filter. *Science Direct, Digital Signal Processing*, 17, 711-723.
- Toprak, A., Özerdem, M.S., Güler, İ., 2007. Suppression of impulse noise in MR images using artificial intelligent based neuro-fuzzy adaptive median filter. *Science Direct, Digital Signal Processing*, 8, 1-15.
- Tukey, J.W., 1974. Nonlinear (nonsuperposable) methods for smoothing data. *Congress Records EASCON'74, Electronics and Aerospace Systems Convention*, Washington, D.C., October 7-9, 1974
- Vijaykumar, V.R., Vanathi, P.T., Kanagasabapathy, P., 2009. Robust statistics based algorithm to remove salt and pepper noise in images. *International Journal of Signal Processing*, 5(3), 164-173.

- Wakabayashi, Y., Taguchi, A., 2005. Impulsive noise removal using interpolation technique in color images. International Symp. on Intelligent Signal and Communication Systems, 13-16 Aralık, Hong Kong.
- Wakabayashi, Y., Taguchi, A., 2006. A new efficient approach for removal of impulse noise for color images. Circuits and Systems, APPCAS IEEE Asia Pacific Conference, 4-7 Aralık, Singapur.
- Wang, Z., Zhang, D., 1999. Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, 46 (1), 78-80.
- Wilamowski, B.M., 1998. Neuro-fuzzy systems and their applications. Industrial Electronics Society, IECON'98 Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE, Aachen, Germany.
- Yıldırım, M.T., 2003. Dürtü Gürültüsü ile Bozulmuş Sayısal Görüntülerde Kenar Çıkarımı İçin Bulanık Sinir Ağı Tabanlı Bir Kenar Sezici. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 46 s.
- Young, I.T., Gerbrands, J., Vliet, L.J., 1998. *Fundamentals of Image Processing*. Delft University of Technology, 113 s, Netherlands.
- Yüksel, M.E., Baştürk, A., 2003. Efficient removal of impulse noise from highly corrupted digital images by a simple neuro-fuzzy operator. International Journal of Electronics Communications, 3, 214-219.
- Yüksel, M.E., Baştürk, A., Beşdok, E., Yıldırım, T., 2004. Detail preserving restoration of impulse noise corrupted images by a switching median filter controlled by a neuro-fuzzy network. IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, 28-30 Nisan, Kuşadası, Türkiye.
- Yüksel, M.E., Baştürk, A., 2005. A simple generalized neuro-fuzzy operator for efficient removal of impulse noise from highly corrupted digital images. International Journal of Electronics Communications. 59, 1-7.
- Yüksel, M.E., 2005. A simple neuro-fuzzy method for improving the performances of impulse noise filters for digital images. International Journal of Electronics Communications. 59, 463-472.
- Yüksel, M.E., Beşdok, E., 2005. A simple neuro-fuzzy impulse detector for efficient blur reduction of impulse noise from removal operators for digital images. IEEE Trans. on Fuzzy Systems. 12 (6), 854-865.
- Yüksel, M.E., 2006. A median/Anfis filter for efficient restoration of digital images corrupted by impulse noise. International Journal of Electronics Communications. 60, 628-637.
- Yüksel M.E., 2006. A hybrid neuro-fuzzy filter for edge preserving restoration of images corrupted by impulse noise. IEEE Trans. on Image Processing, 15(4), 928-936.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. Information and Control, 8, 338-353.
- Zadeh, L.A., 1973. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1, 28-44.
- Zadeh, L.A., 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Information Sciences, 8, 199-249.