

BULANIK SİNİR AĞLARI YARDIMIYLA BİYOMEDİKAL İMGELERİN GÜRÜLTÜ BİLEŞENLERİNDEN ARINDIRILMASI

M. Emin YÜKSEL¹

Alper BAŞTÜRK¹

M. Tülin YILDIRIM²

1 Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü,
2 Erciyes Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksek Okulu
38039, Melikgazi, KAYSERİ. yuksel@erciyes.edu.tr.

Anahtar Kelimeler – Tıp elektronigi, biyomedikal imgelerde gürültü giderimi, bulanık-sinir ağı, imge onarımı.

ÖZET

Bu çalışmada, sayısal özellikli biyomedikal imgelerden dürtü gürültüsünü (impulse noise) gidermeye yönelik yeni, beş aşamalı bir uyarlanır bulanık dizge sunulmaktadır. Bulanık dizgelerin kural kümesi uyarlanır bir şekilde eğitim esnasında belirlenmektedir. Dizgenin eğitimi bilgisayar ortamında üretilen tek bir yapay eğitim imgesi vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Deneyler, sunulan yeni dizgenin sayısal biyomedikal imgelerdeki detaylara ve dokulara zarar vermeksizin dürtü gürültüsünü etkin bir şekilde giderebildiğini göstermektedir.

1. GİRİŞ

Sayısal imgeler kayıt esnasında çeşitli sebeplerden dolayı gürültüden etkilenirler. Gürültü genellikle kaydedilen imge ile kaydedici dizge arasında yer alan ortamın mükemmel olmaması (rasgele saçılma ve soğurulma) ve/veya kaydedici dizgenin ideal olmaması (sensör gürültüsü, sınırlı dizge doğruluğu, sonlu duyarlılık ve kuantalama hataları vs.) nedeniyle ortaya çıkar. İmge gürültüsünün giderilmesi ardı sıra gelen imge işleme ve onarma tekniklerinin başarısı açısından anahtar rol oynamaktadır [1]. Biyomedikal imgelerin gürültü bileşenlerinden arındırılması ise, hastalıklara teşhis koymada sağladığı kolaylık ve bu teşhislerin doğruluğunu artırması nedeniyle günümüzde biyomedikal dizgelerde mutlaka kullanılan ve aranan bir özellik olmuştur.

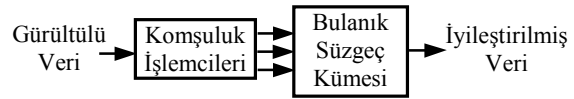
Gürültü giderici süzgeçlerin bir yandan imge gürültüsünü gidermesi diğer yandan imgenin sahip olduğu detay ve dokuları koruması gerektiğinden, imge verisinden gürültünün etkin bir şekilde giderilmesi oldukça zor bir işlemdir. Geleneksel gürültü yok etme tekniklerinin, asıl imgenin sahip olduğu detayları bulanıklaştırma ve bilgi kaybına neden olma gibi istenmeyen özellikleri vardır.

Son bir kaç yılda, imgedeki gürültüyü giderme amacıyla bulanık sinir ağı tekniklerinin kullanımı hızla gelişen bir ilgi alanı olmuştur [2-5]. Bulanık sinir ağı dizgelerinin, yapay sinir ağlarının örneklerden öğrenme yeteneklerini ve bulanık dizgelerin belirsizliği modelleyebilme özelliklerini bir araya getirmesi, hem imge gürültüsünün giderilmesini, hem de iyileştirme sonrasında imge detaylarının ve dokularının korunmasını mümkün kılmaktadır. Bu nedenle, bulanık sinir ağı dizgeleri sayısal özellikli biyomedikal imgelerden gürültü giderilmesi amacıyla etkin bir şekilde kullanılabilecek güçlü araçlar olarak görülmektedir.

Bu çalışmada, sayısal biyomedikal imgelerden dürtü gürültüsünün (impulse noise) etkin olarak giderilmesi için bulanık sinir ağı tabanlı yeni bir dizge sunulmaktadır. Önerilen dizge, 8 adet komşuluk işlemcisi, 9 adet bağımsız uyarlanır bulanık süzgeci, 2 gürültü algılama bloğunu ve bir son işlemciyi bir araya getiren beş aşamalı uyarlanır bir bulanık dizgedir. Her bir bulanık süzgecin kural kümesi, bilgisayar ortamında kolaylıkla üretilen yapay bir eğitim imgesi yardımıyla eğitim sırasında uyarlanır bir şekilde oluşturulmaktadır. İmge gürültüsünün giderilmesi beş aşamada tamamlanmaktadır. İlk aşamada, gürültülü giriş verisi komşuluk işlemcileri tarafından işlenerek bulanık süzgeçlere uygulanacak yeni veri kümeleri elde edilir. İkinci aşamada, her bir komşuluk verisi ilgili bulanık süzgeç tarafından süzülerek süzgeç çıkışında iyileştirilmiş komşuluk vektörleri elde edilir. Üçüncü aşamada, geleneksel medyan süzgeç çıkış verisini ve bulanık süzgeç kümesi çıkış verisini giriş verileri olarak kullanıp, çıkışında medyan süzgeç başarımını artıracak tarzda eğitilen diğer bir bulanık süzgeç kullanılır (burada elde edilen veri, ara çıkış olarak isimlendirilecektir). Dördüncü aşamada, gürültülü imgenin gürültü bileşenlerinden etkilenmemiş elemanları algılanmaya çalışılır ve hata algılayıcı dizge ara çıkış verisi bir kez daha onarıma tabi tutulur. Burada kullanılan hata algılayıcı dizge bir LVQ yapay sinir ağı olabileceği gibi, gürültü tipi eğer sabit dürtü gürültüsü ise 0 ve 255 renk değerlerini seçici diğer bir dizge de olabilir. Beşinci ve son aşamada ise, ara çıkış verisi bir son işlemci tarafından işlenerek tek bir çıkış vektörü elde edilir ve bu tek çıkış vektörü iyileştirilmiş imge matrisini elde edecek şekilde yeniden düzenlenir.

Çeşitli test görüntüleri üzerinde önerilen dizgenin performansı ile geleneksel yöntemlerin performansı karşılaştırılmıştır. Yeni dizgenin geleneksel yöntemlere karşı üstün bir performans gösterdiği ve sayısal imgelerdeki dürtü gürültüsünü imge detaylarına ve dokusuna zarar vermeden etkin bir şekilde temizlediği görülmüştür.

2. YÖNTEM



Şekil 1. Yöntemin genel blok çizimi.

Şekil 1’de, önerilen bulanık gürültü giderme dizgesinin temel elemanı olan üç girişli, bir çıkışlı ve bir ön-işlemcili uyarlanır bulanık süzgecin blok diyagramı görülmektedir.

Ön-işlemci, veriyi komşuluk düzenine göre yeniden düzenleyerek yeni giriş veri kümesini oluşturan ve veriyi bağlı olduğu bulanık süzgece uygulayan bir komşuluk işlemcisidir. Her bir komşuluk işlemcisine bağlı bir bulanık süzgeç vardır ve bu süzgeçler komşuluk işlemcileri tarafından $\rightarrow \downarrow \swarrow \searrow > < \wedge \vee$ yönlerine göre düzenlenmiş komşuluk verilerini işlerler. Yön gösteriminde kullanılan simgelerdeki gri alanlar merkez $x(i,j)$ pikselinin (görüntü elemanı) yerleşimini gösterirken, siyah hatlar komşuluk elemanlarını temsil etmektedir. Görüntüdeki tüm piksellere ait komşuluk verileri 3×3 boyutundaki bir pencerenin görüntü üzerinde kaydırılması vasıtasıyla üretilmektedir. $x(i,j)$ pikseline ait komşuluk verilerinin üretilmesi amacıyla 3×3 boyutlu pencere bu pikseli merkez olarak alır ve komşuluk işlemcileri çıkışlarında veriler şu şekilde elde edilir:

$$\begin{aligned}
 \rightarrow & : [x(i, j-1), x(i, j), x(i, j+1)] \\
 \downarrow & : [x(i-1, j), x(i, j), x(i+1, j)] \\
 \swarrow & : [x(i-1, j-1), x(i, j), x(i+1, j+1)] \\
 \searrow & : [x(i-1, j+1), x(i, j), x(i+1, j-1)] \\
 \vee & : [x(i, j-1), x(i+1, j), x(i, j+1)] \\
 \wedge & : [x(i, j-1), x(i-1, j), x(i, j+1)] \\
 < & : [x(i-1, j), x(i, j-1), x(i+1, j)] \\
 > & : [x(i-1, j), x(i, j+1), x(i+1, j)]
 \end{aligned}$$

Burada i satır indisini, j ise sütun indisini göstermektedir.

$x_{i-1,j-1}$	$x_{i,j}$	$x_{i+1,j+1}$
$x_{i,j-1}$	$x_{i,j}$	$x_{i,j+1}$
$x_{i+1,j-1}$	$x_{i+1,j}$	$x_{i+1,j+1}$

Şekil 2. x_{ij} pikseline ait komşulukların işlenmesi için kullanılan 3×3 'lük pencere.

Bulanık süzgeçlere ait kural kümelerinin sezgisel bir yöntem ile oluşturulmasının verinin aşırı gürültülü olduğu durumlarda çok zor bir problem olmasından dolayı, kural kümelerinin uyarlanırlar bir şekilde oluşturulması tercih edilmiştir. Bu nedenle, her bir bulanık süzgecin kural kümesi eğitim esnasında uyarlanırlar bir şekilde belirlenmektedir. Şekil 3, uyarlanırlar bulanık süzgeçlerin eğitimi için kullanılan düzeneği göstermektedir. Her bir bulanık süzgeç, aynı düzeneğe birbirinden bağımsız olarak eğitilmektedir. Eğitim sırasında gürültü eklenmiş eğitim görüntüsü bulanık süzgeç girişine, gürültüsüz eğitim görüntüsü ise süzgecin arzu edilen işaret girişine uygulanmaktadır. Bulanık süzgeçlerin kural kümeleri uyarlanırlar bir şekilde eğitim hatasını en aza indirecek şekilde ayarlanmaktadır. Eğitim tamamlandığında, eğitilen bulanık süzgecin iç yapısı sabitlenmekte ve bu süzgeç bulanık gürültü giderici dizge içerisinde kullanılmaktadır.

Şekil 4, bulanık gürültü giderici dizgeyi göstermektedir. Bu dizge ile gürültü giderme işlemi beş aşamada gerçekleştirilmektedir. Bu aşamalar şöyle sıralanabilir:

- Giriş imgesine çerçeve ekle. Çerçevesiz imgeyi komşuluk işlemcileri vasıtasıyla işleyerek her bir işlemci çıkışında

(n,m) boyutlu bir imge için $(n \times m, 3)$ boyutlu yeni bir veri matrisi elde et.

- Her bir bulanık süzgeç girişindeki bu yeni veri matrisini ilgili bulanık süzgeç tarafından işle. 8 adet bulanık süzgeç çıkışındaki 8 adet veriyi medyan işlemine tabi tut, M verisini üret.
- Giriş imgesini geleneksel medyan süzgeçleme işlemine tabi tut. GM verisini üret. GM ve M eğitim verilerini giriş kabul ederek orijinal eğitim verisini çıkışta üretecek tarzda eğitilmiş iki girişli tek çıkışlı bulanık çıkarım dizgesine (bulanık süzgeç) M ve GM verilerini uygulayarak ara çıkış imgesini üret
- İsteğe bağlı olarak, LVQ bloğu veya 0-255 renk algılayıcı blok vasıtasıyla gürültülü imgedeki gürültüden etkilenmemiş piksel değerlerini tespit ederek, bu görüntü elemanlarını ara çıkış verisinde yerlerine yerleştir.
- Yeniden boyutlandırma vasıtasıyla son çıkış imgesini elde et.

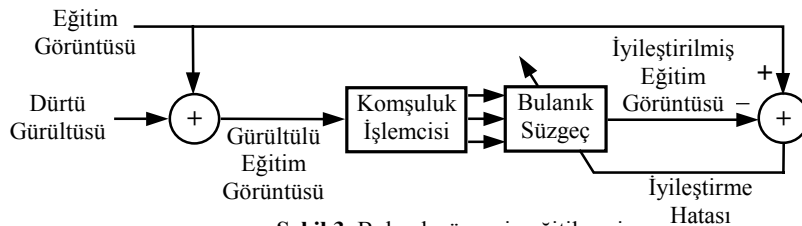
3. SONUÇ ve TARTIŞMA

Önceki bölümde tartışılan yöntem bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Gürültü giderme dizgesinin temel yapısal elemanı olan bulanık süzgeç için üç girişli, bir çıkışlı, birinci dereceden Sugeno tipi bir bulanık dizge kullanılmıştır. Her bir giriş için üçer adet genelleştirilmiş çan (generalized bell) tipi üyelik işlevi, çıkış için ise doğrusal üyelik işlevi seçilmiştir. Üyelik işlevlerinin parametreleri ve kurallar uyarlanırlar olarak eğitim esnasında daha önce tartışılan yöntem vasıtasıyla belirlenmektedir. Dizge parametrelerinin en iyileştirilmesi amacıyla geriye yayılım (back propagation) algoritması ve Levenberg-Marquardt algoritması karma bir şekilde kullanılmıştır.

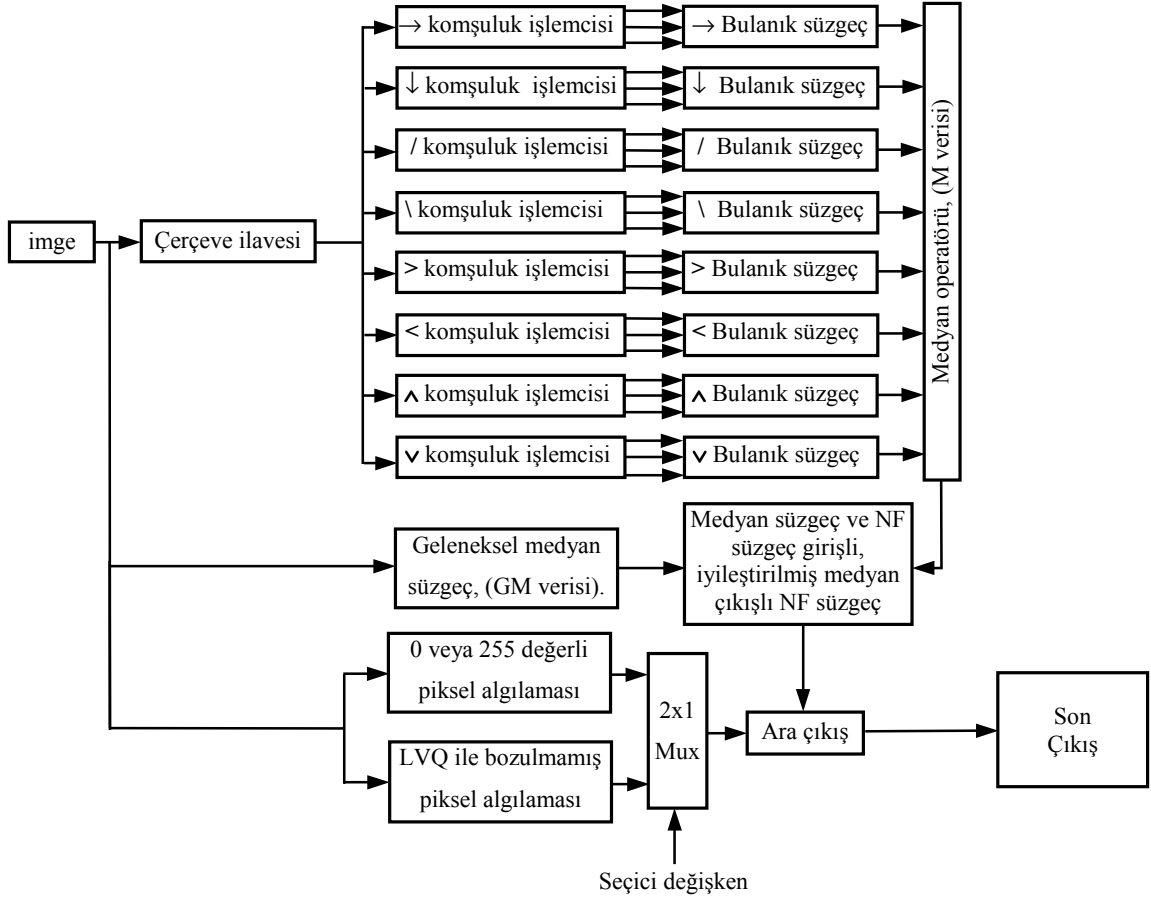
Dokuz bulanık süzgeç de Şekil 3'deki düzeneğe yardımıyla ve aynı eğitim imgesi kullanılarak, fakat her biri kendisine bağlı komşuluk işlemcisi ile birbirinden bağımsız olarak eğitilmiştir. Eğitim sonrasında, bu dokuz bulanık süzgeç Şekil 4'de görüldüğü gibi bir araya getirilmiş ve tartışılan gürültü giderici dizge elde edilmiştir.

Eğitim imgesi bilgisayar ortamında kolaylıkla üretilebilen yapay bir imgedir ve Şekil 5'de görülmektedir. İmgedeki her bir kutunun boyutu 4×4 pikseldir. İmge boyutu ise 64×64 olarak seçilmiştir. Kutuların renk değerleri $[0-255]$ aralığında düzgün (uniform) olarak dağılmaktadır. Her bir kutunun içerisindeki bütün piksellerin renk değerleri aynıdır.

Sunulan gürültü giderici dizgenin performansı dürtü gürültüsü ile değişen oranlarda bozulmuş 2 test imgesi üzerinde değerlendirilmiştir. İmgelerin piksel renk değerleri $[0-255]$ aralığında tam sayılar ile ifade edilmektedir. Test imgeleri performans karşılaştırması yapmak amacıyla geleneksel medyan süzgeç ve yazında popüler olarak kullanılan başka bir bulanık süzgeç [3] ile de süzölmüşlerdir. Performans ölçütleri olarak ortalama karesel hata (mse), iki boyutlu ilinti (corr) ve tepe sinyal gürültü oranı (psnr) kullanılmıştır.



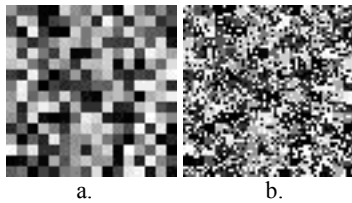
Şekil 3. Bulanık süzgecin eğitilmesi.



Şekil 4. Önerilen gürültü giderici bulanık dizge (NF: Neuro-fuzzy, bulanık sinir ağı).

Tablo 1-6, gürültü giderme deneyine ait sonuçları göstermektedir. Buradaki test imgeleri %10-70 arasında değişen oranlarda dürtü gürültüsü ile bozulmuş olup, medyan, önerilen dizge ve diğer bulanık dizge [3] kullanılarak iyileştirilmiştir. Daha sonra iyileştirilen imgelere ait ortalama karesel hata, iki boyutlu ilinti ve tepe sinyal gürültü oranı değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki, sunulan dizge diğer gürültü giderici yöntemlere nazaran çok daha iyi bir performans sergilemektedir.

Test imgelerine ait iyileştirme sonuçları Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmektedir. Önerilen dizge diğer yöntemlere göre hem gürültüyü daha etkin süzmekte hem de imge detaylarını çok daha az bozmaktadır. Tablo 1-6'da üç yöntemin, iki test imgesine farklı miktarlarda gürültü eklenmesi ile elde edilen imgelere uygulanması ile ulaşılan sonuçlar sunulmaktadır. Tablo 1'in grafiksel gösterimi ise Şekil 9'da verilmiştir. Burada, önerilen bulanık dizgenin diğer iki yöntemle göre çok daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



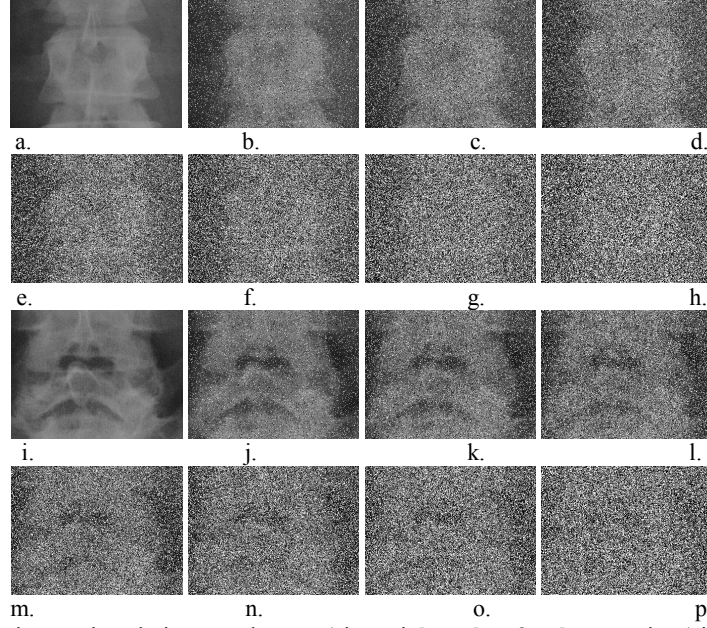
Şekil 5. Çalışmada kullanılan eğitim imgeleri.
a. Gürültüsüz eğitim imgesi b. Dürtü gürültüsü ile bozulmuş eğitim imgesi

4. ÇIKARIM

Sayısal biyomedikal imgelerden dürtü gürültüsünün etkin bir şekilde süzülmesine yönelik yeni bir bulanık dizge sunulmuştur. Yeni dizgenin geleneksel yöntemlere göre temel üstünlüğü çok daha etkin bir şekilde gürültüyü süzmesinin yanı sıra imgedeki detayları korumasıdır. Ayrıca, sunulan bulanık dizgenin eğitimi bilgisayar ortamında kolaylıkla üretilen basit bir eğitim imgesi ile sadece bir defaya mahsus olarak yapılmaktadır. Deney sonuçları sunulan dizgenin sayısal tıbbi imgelerden dürtü gürültülerini gidermekte etkin bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

- [1.] Choi Y., Krishnapuram R., "A robust approach to image enhancement based on fuzzy logic", IEEE Trans. on Image Processing, 6, s.808-825, 1997.
- [2.] Russo F., "Evolutionary neural fuzzy systems for data filtering", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Mayıs 1998, St. Paul, Minnesota, USA, s.826-831.
- [3.] Russo F. "Noise removal from image data using recursive neurofuzzy filters", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, 49(2), s.307-314, 2000.
- [4.] Kim H.M., Kosko B., "Fuzzy prediction and filtering in impulsive noise", Fuzzy Sets and Systems, Haziran 1996, Amsterdam, 77, s. 15-33.
- [5.] Su M., Basu M., "Gating improves neural network performance", IEEE IJCNN'01. International Joint Conference, s. 2159-2164, 2001.



Şekil 6. Çalışmada kullanılan test imgeleri. **a.** gürültüsüz g1 imgesi, **b.,c.,d.,e.,f.,g.,h.** sırasıyla g1 imgesinin %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70 oranlı dürtü gürültülü halleri, **i.** gürültüsüz g2 imgesi, **j.,k.,l.,m.,n.,o.,p.** sırasıyla g2 imgesinin %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70 oranlı dürtü gürültülü halleri. (imge boyutları 225x340).

Tablo 1. Değişik gürültü oranlı g1 imgesi için iyileştirme sonuçları (ortalama karesel hata, mse).

Gürültü olasılığı	İyileştirmeden Önce	Geleneksel Medyan	[3] no'lu referanstaki dizge	Önerilen LVQ algılamalı dizge	Önerilen 0-255 algılamalı dizge
%10	1792.2089	28.2094	25.0875	20.2656	5.0555
%20	3619.9047	67.8722	91.5999	31.2199	18.9992
%30	5366.5314	240.8709	275.8797	55.8549	46.1687
%40	7162.0533	796.8238	1132.0445	108.5623	101.2009
%50	8902.0059	1759.4527	5353.1059	190.3163	184.7141
%60	10694.9078	3544.6545	9299.8653	331.2827	326.7285
%70	12474.2943	6124.9483	10087.1831	528.6065	524.9983

Tablo 2. Değişik gürültü oranlı g1 imgesi için iyileştirme sonuçları (ilinti, corr.).

Gürültü olasılığı	İyileştirmeden Önce	Geleneksel Medyan	[3] no'lu referanstaki dizge	Önerilen LVQ algılamalı dizge	Önerilen 0-255 algılamalı dizge
%10	0.491	0.980	0.984	0.989	0.996
%20	0.333	0.953	0.951	0.979	0.987
%30	0.249	0.856	0.877	0.961	0.969
%40	0.191	0.662	0.681	0.928	0.937
%50	0.140	0.495	0.223	0.882	0.891
%60	0.099	0.323	-0.084	0.808	0.815
%70	0.076	0.225	-0.231	0.714	0.720

Tablo 3. Değişik gürültü oranlı g1 imgesi için iyileştirme sonuçları (tepe sinyal gürültü oranı, psnr.).

Gürültü olasılığı	İyileştirmeden Önce	Geleneksel Medyan	[3] no'lu referanstaki dizge	Önerilen LVQ algılamalı dizge	Önerilen 0-255 algılamalı dizge
%10	15.5969	33.6269	34.1362	35.0632	41.0931
%20	12.5438	29.8139	28.5119	33.1865	35.3434
%30	10.8339	24.3130	23.7236	30.6602	31.4873
%40	9.5804	19.1172	17.5922	27.7740	28.0790
%50	8.6359	15.6770	10.8447	25.3360	25.4658
%60	7.8390	12.6351	8.4460	22.9288	22.9889
%70	7.1706	10.2598	8.0931	20.8995	20.9292

Tablo 4. Değişik gürültü oranlı g2 imgesi için iyileştirme sonuçları (ortalama karesel hata, mse).

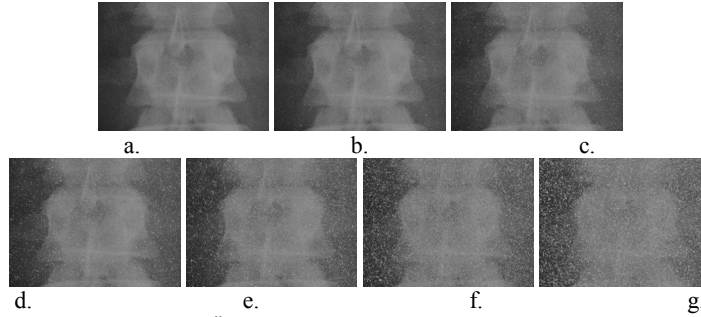
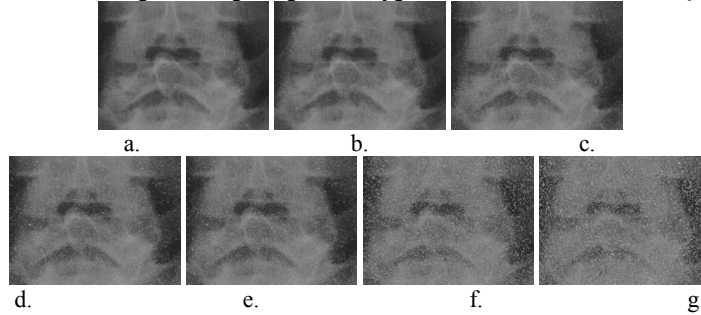
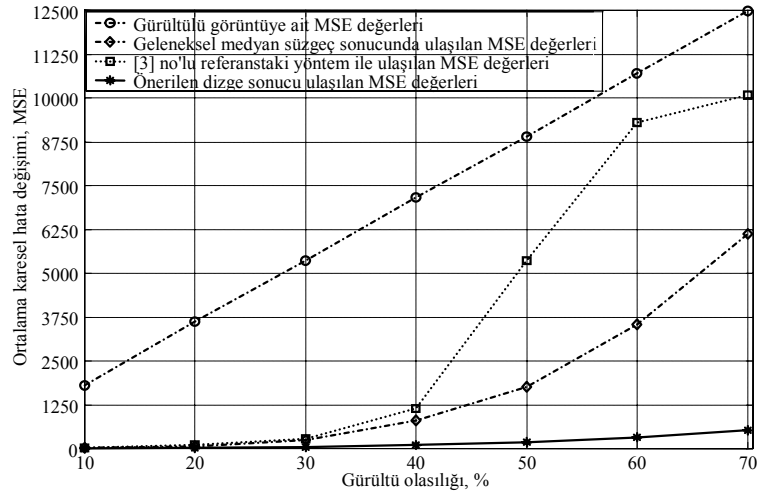
Gürültü olasılığı	İyileştirmeden Önce	Geleneksel Medyan	[3] no'lu referanstaki dizge	Önerilen LVQ algılamalı dizge	Önerilen 0-255 algılamalı dizge
%10	1809.5051	45.1716	31.613	26.9145	7.7849
%20	3513.9046	86.8727	103.6911	39.0273	23.4433
%30	5396.0533	275.3191	302.2085	68.8600	56.7286
%40	7139.8266	774.5537	1178.8109	124.3752	115.1509
%50	8875.7482	1753.9012	5144.0816	211.9968	204.9937
%60	10705.3255	3662.5233	9000.4427	365.1965	359.8775
%70	12496.8605	6239.3500	9737.3199	582.1939	578.2361

Tablo 5. Değişik gürültü oranlı g2 imgesi için iyileştirme sonuçları (ilinti, corr.).

Gürültü olasılığı	İyileştirmeden Önce	Geleneksel Medyan	[3] no'lu referanstaki dizge	Önerilen LVQ algılamalı dizge	Önerilen 0-255 algılamalı dizge
%10	0.479	0.965	0.979	0.983	0.994
%20	0.333	0.935	0.939	0.972	0.982
%30	0.239	0.823	0.859	0.948	0.961
%40	0.180	0.643	0.651	0.912	0.924
%50	0.136	0.465	0.241	0.861	0.874
%60	0.108	0.317	-0.084	0.783	0.794
%70	0.071	0.199	-0.237	0.674	0.683

Tablo 6. Değişik gürültü oranlı g2 imgesi için iyileştirme sonuçları (tepe sinyal gürültü oranı, psnr.).

Gürültü olasılığı	İyileştirmeden Önce	Geleneksel Medyan	[3] no'lu referanstaki dizge	Önerilen LVQ algılamalı dizge	Önerilen 0-255 algılamalı dizge
%10	15.5552	31.5821	33.1321	33.8309	39.2183
%20	12.6729	28.7420	27.9734	32.2171	34.4306
%30	10.8100	23.7324	23.3277	29.7511	30.5928
%40	9.5939	19.2403	17.4164	27.1835	27.5181
%50	8.6488	15.6908	11.0177	24.8675	25.0134
%60	7.8348	12.4930	8.5882	22.5055	22.5693
%70	7.1628	10.1794	8.2464	20.4801	20.5098

**Şekil 7.** g1 imgesine ait iyileştirme sonuçları. Önerilen yöntemin, sırasıyla a., b., c., d., e., f., g., %10, %20, %30, %40, %50, %60 ve %70 oranlı dörtü gürültülü g1 imgelerine uygulanması ile elde edilen sonuç imgeler.**Şekil 8.** g2 imgesine ait iyileştirme sonuçları. Önerilen yöntemin, sırasıyla a., b., c., d., e., f., g., %10, %20, %30, %40, %50, %60 ve %70 oranlı dörtü gürültülü g2 imgelerine uygulanması ile elde edilen sonuç imgeler.**Şekil 9.** Gürültülü g1 imgesine üç farklı yöntemin uygulanması ile elde edilen iyileştirme sonuçlarının grafiksel analizi.