

## DÖNGÜLÜ YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜK ALGORİTMASI İÇİNDE UYARLAMALI VE AYKIRI DEĞER AYIKLAMALI ARADEĞERLEME

K. Özkan<sup>1</sup>, E. Seke<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 26480, Meşelik, Eskişehir. kozkan@ogu.edu.tr

<sup>2</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 26480, Meşelik, Eskişehir. eseke@ogu.edu.tr

### ÖZET

Uzaktan görüntü algılama sistemlerinden elde edilen çok sayıda görüntünün istenilen daha yüksek çözünürlüklü görüntüler üretmek için kullanımı yaygın olsa da bazı sorunlar içermektedir. Üretilen yüksek çözünürlüklü görüntüler içindeki kenarların bulanıklaşması ya da yeterince kaliteli olamaması kullanılan aradeğerleme yöntemlerinden kaynaklanan bir sorun olup seçici yaklaşımlar ile düzeltilebilir. Bu çalışmada, döngülü bir yüksek çözünürlük algoritması içinde, işlenen yerel bölütün kenar içerip içermediğine uyarlamalı bir aradeğerleme yöntemi kullanılmıştır. Aradeğerleme yapılırken aykırı değerler ayıklanmış, böylelikle kenarlara yakın ancak düzgün bölgede kalan yüksek çözünürlüklü piksellerin değerleri için kenar pikselleri kullanılmamıştır. Benzer şekilde kenar veya köşe içeren yerel bölüt içindeki piksel değeri dağılımı da dikkate alınarak aykırı değer ayıklaması yapılmıştır. Sonuç olarak, kenarlar çok daha keskin ve düzgün şekilde üretilebilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Yüksek Çözünürlük, Ara Değerleme, Kenar İyileştirme.

## ADAPTIVE INTERPOLATION WITH OUTLIER REMOVAL WITHIN ITERATIVE SUPER-RESOLUTION ALGORITHM

### ABSTRACT

Use of several low resolution images coming from remote image sensing systems for generation of higher resolution images is very common and has some limitations. The lack of edge quality or blurring within the generated high resolution images is a direct result of interpolation methods employed and can be alleviated using discriminative approaches. In this work, an interpolation approach that is adaptive to whether current block under investigation includes edges is used in an iterative super-resolution algorithm. During interpolation for high resolution pixels near the edges, outliers are removed, preventing the use of edge pixels. A similar outlier removal is employed for the local segments that include edges or corners, according to local histogram. As a result, smoother but sharper edges are obtained.

**Keywords:** Super-resolution, interpolation, edge improvement

### 1. GİRİŞ

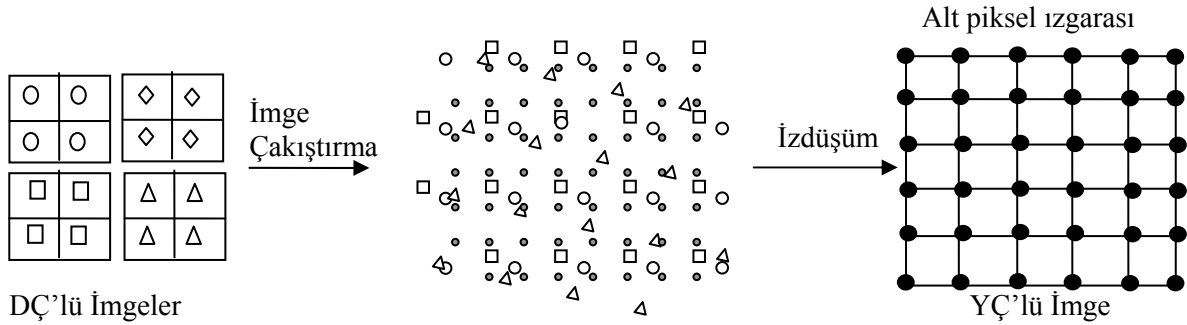
Çevrede olup biten olayları kaydetmek ve kalıcı kılmak, teknolojik gelişim sürecinde insanlığın önemli uğraş alanlarından biri olmuştur. İlk geliştirilen fotoğraf ve video makineleriyle siyah beyaz video kaydı yapılabilirken, ilerleyen yıllarda renkli görüntü elde edilmiştir. Dijital teknolojinin gelişimiyle birlikte ses ve video görüntüleri bilgisayar ortamında kolaylıkla işlenebilecek biçimde kaydedilmeye başlanmıştır. Görüntünün bilgisayara aktarılabilmesiyle birlikte görüntü işleme cihazlarının hız ve kapasitelerinde önemli gelişmeler yaşanmıştır. Zaman ilerledikçe daha yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmeye olanak veren sayısal resim işlemcileri geliştirilmeye başlanmıştır. Yüksek çözünürlük (YÇ), bir görüntü içerisinde bilgi miktarının, dolaylı olarak ta piksel sayısının daha fazla olmasıdır. Yüksek çözünürlüklü bir görüntünün daha fazla detay içermesi çeşitli uygulamalarda kritik faydalar sağlayabilir. Örneğin, YÇ'li medikal bir görüntü bir doktora doğru teşhis koymasına daha çok yardımcı olabilir.

Eskiye göre oldukça kaliteli algılayıcıların üretilebilmesine rağmen, eldeki olanaklarla daha kaliteli ve çok sayıda görüntü elemanı (piksel) içeren görüntüler elde edebilmeye yönelik çalışmalar hala devam etmektedir. Yani, mevcut sayısal görüntünün kalitesi ve çözünürlüğü ne olursa olsun, bunlar kullanılarak daha iyilerinin üretilmesi çalışmaları daima araştırma-geliştirmeye açıktır. Uzamsal çözünürlüğü artırmanın en kestirme yolu algılayıcı üretim teknikleriyle piksel boyutunu küçültmek ve birim alana düşen piksel sayısını artırmaktır. Ancak piksel boyutu azaltılırsa üzerlerine düşen ışık miktarı da azalır. Bu da elde edilen görüntüde gürültünün baskın hale gelmesine sebep olur. Gürültünün ilave etkisine maruz kalmadan piksel boyutlarını azaltabilmenin teknolojik sınırları vardır ki son zamanlarda bu sınırlara oldukça yaklaşmıştır. Uzamsal çözünürlüğü artırmanın bir diğer yolu ise yonga ve optik sistem boyutlarını artırmaktır. Bu işlem de elektriksel sığanın artmasına yol

açmaktadır. Büyük sığa yük transfer oranını sınırladığı için yöntem verimli olmamaktadır (Katsaggelos and Efstratiadis, 1990). Yüksek hassaslıktaki mercekleme ve görüntü algılayıcıların pahalı olması birçok YÇ'lü görüntü uygulamalarında sorun oluşturmaktadır. Bundan dolayı uzamsal çözünürlüğü artırmak ve algılayıcı üretim maliyetlerini düşürmek için farklı yaklaşımlara ihtiyaç vardır.

Sinyal işleme teknikleri kullanılarak düşük çözünürlüklü (DÇ) görüntülerden YÇ'lü görüntü elde etme yöntemleri yeni umut verici yaklaşımdır. Bu yaklaşımın en önemli avantajı daha düşük maliyet içermesi ve var olan DÇ'lü görüntülerin kullanılabilmesidir. Çok bilinen görüntü işleme yöntemleri ile birçok görüntü bozulma işlevi önceden bilinen işlem parametreleri kullanılarak tersine döndürülebilir ya da en azından azaltılabilir. Örneğin bulanıklık önceden tahmin edilen bulanıklık parametreleri kullanılarak oldukça azaltılabilir (Jahne, 1995; Baker and Kanade, 2000). Ancak, bu YÇ elde etme işlemi değil, sadece göze daha iyi, keskin ve net görünen bir görüntü elde etme işlemidir. YÇ ne yüksek frekans bileşenlerini artırılarak daha keskin gözükten görüntüler elde etmektir ne de piksel sayısını artırmaktır. YÇ, gerçeğe, ışığın oluşturduğu gerçek ve sürekli görüntüye olan yakınlıktır (Lin and Shum, 2004). Daha önce sayısallaştırma ile kaybedilmiş bilgilerin görüntünün sadece bazı görüntü operasyonlarından geçirilmesi ile yeniden görüntüye eklenemeyeceği ve bunun bilgi kuramına aykırı olduğu açıktır. Kaybolan verilerin başka veri kaynakları kullanılarak eklenmesi gereklidir. Bu kaynak ya da kaynaklar, aynı yerin biraz farklı görüntüleme parametreleri ile alınmış görüntüleri olabilir. YÇ, aynı yerin farklı parametrelerle alınmış görüntülerinde birbirlerinden bağımsız veri olabileceği varsayımı ile çalışır ve bu verileri bir tek YÇ'lü görüntü üretmek için kullanır. Elimizde bu şekilde küçük farklı parametrelerle kaydedilmiş görüntüler olduğunu varsayarsak (Şekil 1) YÇ'lü bir resmin aşağıdaki basamaklar ile elde edildiği genellenebilir (Park et al., 2003).

1. Referans bir koordinat sistemine göre, tüm resimlerin tüm piksellerinin koordinatlarını alt piksel seviyesinde bul (alt piksel çakıştırma) ve bu piksellerin oluşturduğu düzenli olmayan bir örnekleme ızgarasına sahip bir görüntü elde et (ya da edildiğini varsay)
2. Düzenli olmayan örnekleme ızgarası üzerindeki pikselleri kullanarak düzenli ve daha yoğun bir ızgaraya sahip görüntüyü tahmin et ki bu da bizim YÇ'lü görüntümüz olsun



Şekil 1. DÇ Görüntülerden YÇ'lü görüntü elde etme yöntemi

## 2. TEMEL GÖRÜNTÜ MODELİ

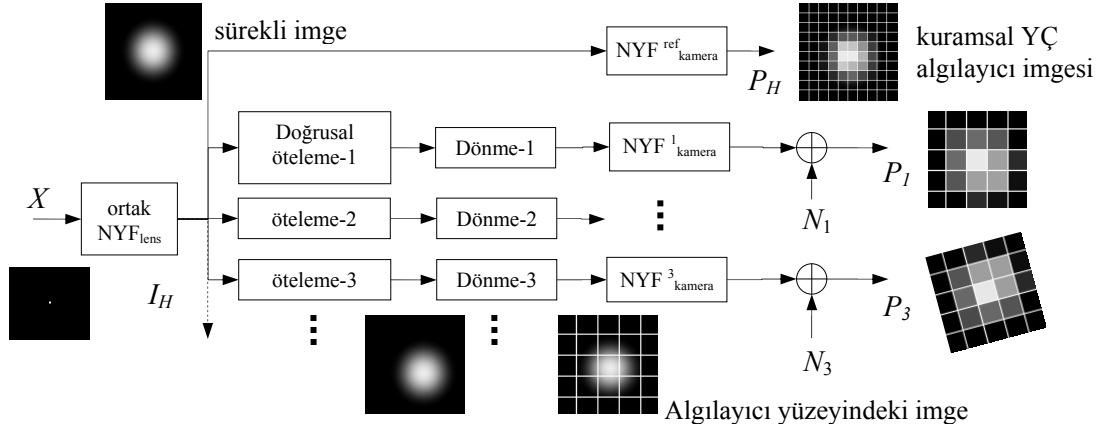
YÇ uygulamaları için genel olarak kabul görmüş görüntüleme modeli içinde öteleme, dönme, perspektif bozulması, gizlenme ve belirme, karşıtlık ve parlaklık bozulmaları ve gürültü bulunur. Ancak çoğu uygulamada bunların hassas şekilde hesaplanması ya mümkün olmadığından ya da zaten oldukça az ve ihmal edilebilir olduğundan sadece birkaç işlevin olduğu modeller kullanılırlar. En çok kullanılan ve Şekil 2'de gösterilen modelde ise sadece dönme, doğrusal öteleme ve gürültü işlevleri vardır. Kuramsal YÇ görüntünün koordinat sistemi referans olarak alınan bir DÇ görüntü ile eşleştirilmiş, diğer DÇ görüntülerin yeni referans sisteme göre durumlarının bilindiği varsayılmıştır (alt piksel çakıştırılmıştır.)

Nokta yayılım fonksiyonu (NYF) siyah düzlem içindeki küçük bir beyaz noktanın optik yayılmadan dolayı dağılması ve genellikle Gaussian bir parlaklık karakteristiğini göstermesini modeller. Yani NYF, sistemin birim darbeye tepkisi olarak tanımlanabilir. Birinci kısım (optik bulanma, NYF lens) optik sistemde odak uzaklığı uyumsuzluğundan oluşan bulanıklaşma işlevi, ikinci

kısım ise (kamera bulanması, NYF kamera) algılayıcı hücrelerin ışık fotonlarını toplaması ile oluşan bulanıklaşmayı temsil eder. Model içinde temsil edilen hiçbir transfer fonksiyonun etkisi ters dönüşüm yöntemi ile giderilemez, çünkü bu fonksiyonlar ya tam olarak bilinmemektedir ya da tersi olmayan fonksiyonlardır.

Benzer çalışmalar mevcut olup önerilen yöntemlerin hemen hepsi bir model belirleme ve model üzerinde formülleşen hatayı yinelemeli yöntemlerle azaltma tekniklerini ara değerlendirme ile birleştiren bir yaklaşım sunmaktadırlar (Nguyen et al., 2001). Bu model;

$$Y_k [m, n] = [H_{kamera} ** F (H_{ortak} ** X_H)] \downarrow + N_k [m, n] \quad (1)$$



Şekil 2. Dönme ve öteleme içeren, kuramsal yüksek çözünürlüklü imgeyi gösteren model

şeklinde. Burada  $**$  2 boyutlu evrişim işlevi,  $F$  burulma işlevi (sahnenin kamera koordinat sistemine izdüşümü),  $\downarrow$  örnekleme ve sayısallaştırma işlevi,  $N$  sistem gürültüsü ve  $Y$  de sayısallaşmış, gürültülü sonuç görüntüsüdür. YÇ yöntemi sayısal görüntülerin onarımı olduğundan, YÇ modelini matris simgeli olarak yazmak mümkündür. YÇ görüntünün boyutu  $L_1 N_1 \times L_2 N_2$  ise bunu vektör normunda  $x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_M]^T$  şeklinde yazılabilir. Burada  $M = L_1 N_1 \times L_2 N_2$ ,  $L_1$  ve  $L_2$  parametreleri ise sırasıyla yatay ve dikey indirgeme katsayılarını göstermektedir. DÇ görüntü boyutlarının ise  $N_1$  ve  $N_2$  olduğu açıkça görülmektedir.  $k$  inci DÇ görüntü vektör normunda  $y_k = [y_1, y_2, y_3, \dots, y_{N_1 N_2}]^T$  şeklinde yazılabilir.

Şekil 2'deki modele göre her bir DÇ görüntü YÇ görüntünün eğme bulandırma ve indirgemeye tabi tutularak elde edildiğinden ve ayrıca her DÇ görüntüye farklı gürültü eklendiğinden modelimiz

$$y_k = DB_k F_k X + \eta_k, \quad 1 \leq k \leq p \quad (2)$$

olur. Burada  $F_k$  eğme matrisi,  $B_k$  bulandırma matrisi,  $D$  indirgeme matrisi,  $\eta_k$  gürültü vektörü ve  $p$  elimizdeki DÇ lü görüntü sayısıdır. DÇ görüntüler elde edilmesi sırasında YÇ görüntüdeki hareket eğme matrisi  $F_k$  da tanımlanır.

Bu durum bölgesel veya evrensel olabileceği gibi dönme ve benzeri durumları da içerir. Hareket bilgisi genellikle bilinmez, ancak DÇ görüntülerden biri referans seçilerek tahmin edilmeye çalışılır. Bulandırma optik sistemden (odaklanma, kırınım limitleri vb), orijinal resim alanı ile görüntüleme sistemi arasındaki bağıl hareketten ve DÇ görüntü algılayıcıların NYF'sinden kaynaklanmaktadır. İndirgeme matrisi ( $D$ ), eğilmiş ve bulanmış YÇ görüntüden örtüşmüş olan DÇ görüntüler elde eder. Her ne kadar burada DÇ görüntülerin büyüklükleri aynı olsa da değişik indirgeme matrisleri kullanarak değişik boyutlarda DÇ görüntüler elde edilebilir. (2)'de verilen modele göre  $p$  adet denklem tek bir matris-vektör formunda (3)'deki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ y_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} DBF_1 \\ DBF_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ DBF_p \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \eta_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ H_p \end{bmatrix} X + \eta \quad (3)$$

Görüldüğü gibi DÇ görüntüler YÇ görüntü piksellerinin bir katsayı ile (ağırlıkla) toplamlarına gürültü eklenmesi ile oluşmuştur. Burada  $H_k = DBF_k$  dir ve bulandırma, eğme ve indirgeme matrisleri içerir.

Tsai ve Hang'ın 1984 yılında Landsat 4 uydusundan alınan imgelerin çözünürlüğünü artırma çalışması YÇ çözünürlükle ilgili ilk çalışma olarak kabul edilebilir. Elde edilen imgeler durağan bir görüntüden alt örneklenmiş ve aralarında evrensel ötelemeler olduğunu varsaymışlardır. Örnekleme frekansı Nyquist oranı altında olmak üzere ideal dürtü örnekleme kabul edilmiştir (Tsai and Huang, 1984). Tsai ve Huang'ın önerdiği yaklaşımındaki 2 kısıt Tekalp, Özkan ve Sezan tarafından ele alınıp incelenmiştir. Tsai ve Huang'ın yaklaşımını, doğrusal, uzamsal değişmez NFY etkileri ve bunun yanında gözlem gürültülerini içeren yeni bir yaklaşımla geliştirmişlerdir. Tsai ve Huang gibi periyodik örnekleme kabul etmişler, ancak dürtü örnekleme yerine sistem NYF'sini algılayıcıların NYF'si olarak seçmişlerdir. Evrensel öteleme modelini hala kullanmakla beraber frekans alanında gürültü içeren, bozulmuş ve eksik örneklenmiş gözlem görüntülerinin formüllerini vermişler ve gözlem gürültülerini en küçükleyebilmek için en küçük kareler yaklaşımı ile çözüme ulaşmışlardır (Tekalp et al., 1992). Kim ve arkadaşları ise Tikhonov düzenleme terimi ekleyerek yeni bir yaklaşım sunmuşlardır (Kim and Su, 1993). YÇ probleminin çözümü için olasılıksal yöntemler de sık kullanılmaktadır (Schultz and Stevenson, 1995; Pan and Reeves, 2006). Bir başka yaklaşım ise küme teorisi yöntemidir (Özkan et al., 1994). Dışbükey kümeler izdüşüm formülleri, YÇ onarımında geçerli çözüm için kısıt kümelerini kullanmak olarak tanımlanır. Bunlar, gözlem verilerinin aslına sadık olması, pozitiflik, enerjide sınırlılık, yumuşaklık ve benzeri kısıtlar olabilmektedir.

### 3. DÖNGÜLÜ GERİ YAYILIM ALGORİTMASI (DGY)

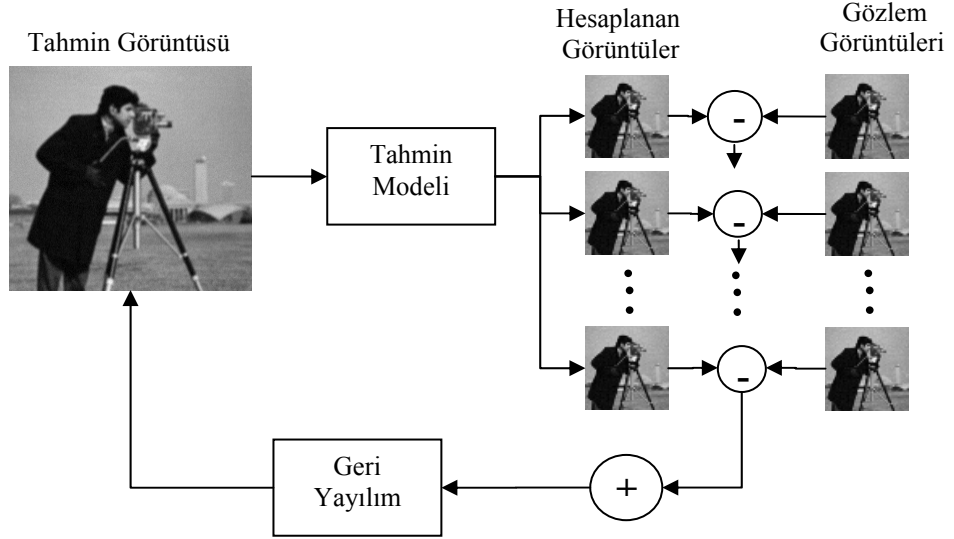
Döngülü yöntemlerin hemen hepsi basit ve onarım için benzet ve düzelt yaklaşımıyla çalışmaktadır ve YÇ onarımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilinmeyen bir sahneden elde edilmiş ve çoğu zaman bozulmuş bir grup DÇ görüntü ve ara değerlendirme ile tahmin edilmiş bir başlangıç görüntü elimizde olsun. Sahne ile gözlem görüntü dizeleri arasındaki görüntü işlemleri (sistemin modeli) bilinirse, başlangıç görüntüsünden benzetim yapılarak elde edilen görüntüler gözlem görüntü dizeleri ile karşılaştırılabilir ve kalıntı hatası bulunabilir. Kalıntı hatası ne kadar düşük olursa tahmin edilen görüntü aranan görüntüye o kadar yakın demektir. Bu hata bilgisi tahmini geliştirmek için kullanılabilir. Geri yayılım olarak bilinen bu işlem kalıntı hatası en küçük oluncaya kadar döngülü olarak devam ettirilir. Şekil 3'de görüldüğü gibi döngü işlemi 2 kısımdan oluşur: gözlem görüntülerin benzetimi ve bulunan hatanın geri yayılarak YÇ görüntünün tahmin edilmesi. Bilinmeyen ayrık X görüntüsünü, tipik olarak alt örnekleme ve devinim içeren H operatörünü uyguladığımızda DÇ görüntülerin

$$Y = HX \quad (4)$$

ile elde edileceğini söylemiştik. X görüntüsünün j adımıdaki tahmin görüntüsü  $\tilde{X}^j$  eşitlik (4) yardımıyla benzetilirse benzetim sonucu DÇ görüntüler elde edilir ( $\tilde{Y}^j = H\tilde{X}^j$ ). Benzetilmiş DÇ görüntülerle ( $\tilde{Y}^j$ ) elimizde olan DÇ görüntüler (Y) arasındaki hata hesaplanıp geri yayılım işleci  $H^{BP}$  ile tahmin görüntüsü DGY işlemine tabi tutularak eşitlik (5) teki gibi güncellenir. Tipik olarak  $H^{BP}$ , H işlecinin yaklaşık olarak tersidir.

$$\begin{aligned} \tilde{X}^{j+1} &= \tilde{X}^j + \beta H^{BP} (Y - \tilde{Y}^j) \\ &= \tilde{X}^j + \beta H^{BP} (Y - H\tilde{X}^j) \end{aligned} \quad (5)$$

Eşitlik (5)'de döngü işlemi DGY yöntemi,  $H$  işleci öngörü,  $\beta$  yakınsama hızını kontrol eden geri yayılım kazanç kontrolü ve  $H^{BP}$  de geri yayılım işleci olarak bilinmektedir ve Landweber döngüsünün (Landweber) değişik bir formudur. Öngörü ve geri yayılım işlecinin nasıl seçileceği çok geniştir. Keren, Peleg ve Brada döngülü geri yayılım yöntemini YÇ uygulamalarında ilk kullanan kişilerdir (Keren et al., 1998). YÇ onarım problemi kötü konumlanmıştır. Eksik belirtilmiş durumunda (birbirinden farklı DÇ imge sayısının büyütme çarpanından az olması durumu) eşitlik (4)'ü sağlayan sonsuz çözüm vardır. Ayrıca düzenleme terimi final çözümündeki yapay olguları kaldırmaya ve yakınsama hızını da artırmaya yardımcıdır. Birçok olası düzenleme olmasına rağmen YÇ görüntüde keskin kenar sağlayan ve uygulaması kolay olan düzenleme seçilir (Elad and Hel-Or, 2001).



Şekil 3. Döngülü geri yayılım algoritması

#### 4. KENAR KORUMA VE AYKIRI DEĞER AYIKLAMA

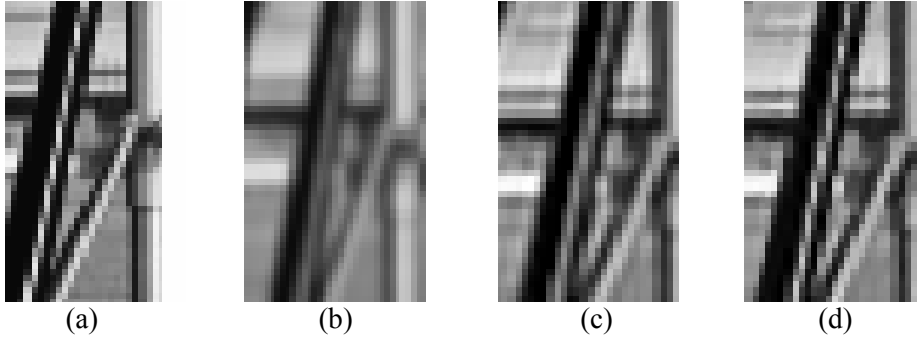
Kübik ve doğrusal gibi geleneksel ara değerlendirme yöntemlerinin uzamsal alanda büyütme yaparken blok etkileri ve aşırı derece yumuşatma gibi olumsuz etkileri vardır. Eğer büyütme oranı artarsa bu etkiler daha da belirgin hale gelmektedir. YÇ elde etme algoritmaları içinde bu yumuşatma etkisi giderilerek daha keskin bir YÇ görüntü elde edilmeye çalışılmaktadır. Ancak bu etkiler giderilirken gürültü en önemli parametredir. Görüntü daha keskin yapılırken imgedeki gürültü de bundan etkilenmekte ve istenmeyen sonuçlar elde edilmektedir. Bunun için DÇ görüntü dizilerindeki aykırı değerlerin ayıklanması gerekmektedir. Median operatörü kullanılarak aykırı değer ayıklama birçok araştırmacı tarafından önerilmesine rağmen (Farsiu et al., 2004; Barber et al., 1996; Chiang and Boulte, 2000), özellikle metin görüntülerinde Gaussian gürültü var ise en iyi çözüm değildir (Trimeche et al., 2006). Bu çalışmada, bir yüksek çözünürlük döngüsü içinde YÇ'lü görüntü piksellerini etkileyen DÇ görüntü pikselleri üstel bir fonksiyon yardımı ile aykırı değer olma olasılığı olan piksellerin YÇ onarımında ki etkisi azaltılmıştır. Ancak, bu yaklaşımda kenar pikseller de aykırı değer olarak tanınabilmektedir. Bunun için aykırı değer ayıklaması sadece düzgün alanlarda yapılmış, eğer işlenen kısım kenar içeriyorsa aykırı değer ayıklaması yapılmamıştır. Kenar bulmak için de klasik prewitt gibi türevsel bir yöntem seçilmiştir. (6) da görüldüğü gibi kenar içermeyen bir bölütle etkili olan DÇ görüntü piksellerinin ortalamadan farkları üstel bir fonksiyona tabi tutulmuştur.

$$w_k = \begin{cases} \exp\left(-\left|Y_k - \frac{1}{N_a} \sum_{i=1}^{N_a} Y_i\right| / 2\sigma_a\right) & \text{eğer kenar değilse} \\ 1 & \text{eğer kenar ise} \end{cases} \quad (6)$$

Burada  $N_a$  işlenmekte olan bölüt içerisinde olan DÇ piksellerin sayısı,  $\sigma_a$  ise ağırlıkları ayarlama parametresidir. Bu çalışmada deneysel  $\sigma_a$ , 0.5 olarak seçilmiştir. Kenar bölgeler ise YÇ'lü görüntü için önemli olduğundan ayrı olarak ele alınmıştır. Geri yayılım algoritması bulunan kalıntı hatasını geriye yaymaktadır. Kenar bölgesine karşı gelen kalıntı hata hem kenar bölgesine hem de kenar bölgesine yakın düzgün alana geri olarak yayılmaktadır. Bu durum cameraman görüntüsünün bir parçası olan Şekil 4'te açıkça görülmektedir. Orijinal resimde net olarak görülen dikey beyaz çizgi, ara değerlendirme yapıldığı zaman neredeyse hiç gözükmemektedir. Klasik DGY algoritması dikey çizgiyi ortaya çıkarmasına rağmen kalıntı hatasını yaydığı için bulanık bir sonuç elde edilmektedir. Önerilen yöntemde ise dikey çizgi kenar olduğu uyarlamalı olarak tespit edilmiş ve (7) de verilen eşitliğe göre onarım yapılmıştır. Önerilen yöntemin matematiksel ifadesi şöyledir.

$$\tilde{X}^{j+1} = X^j + \beta WH^{BP} w(Y - HK^j) \quad (7)$$

Burada,  $W$  kenar koruma matrisidir ve  $W_{i,j} = \exp(-|X_{i,j} - X_{m,n}|/2\sigma_b)$  şeklinde hesaplanmaktadır. Burada  $X_{i,j}$  işlenen kısımdaki tahmini YÇ'lü görüntü pikselleri,  $X_{m,n}$  ise aynı bölgenin koordinat olarak merkez noktasıdır.  $w$  ve  $\beta$  daha öncede belirtildiği gibi sırasıyla aykırı değer ayıklama katsayısı ve yakınsama hızını kontrol eden geri yayılım kazanç kontrolüdür.  $\sigma_b$  ise kenar koruma ağırlık ayarlama parametresidir.



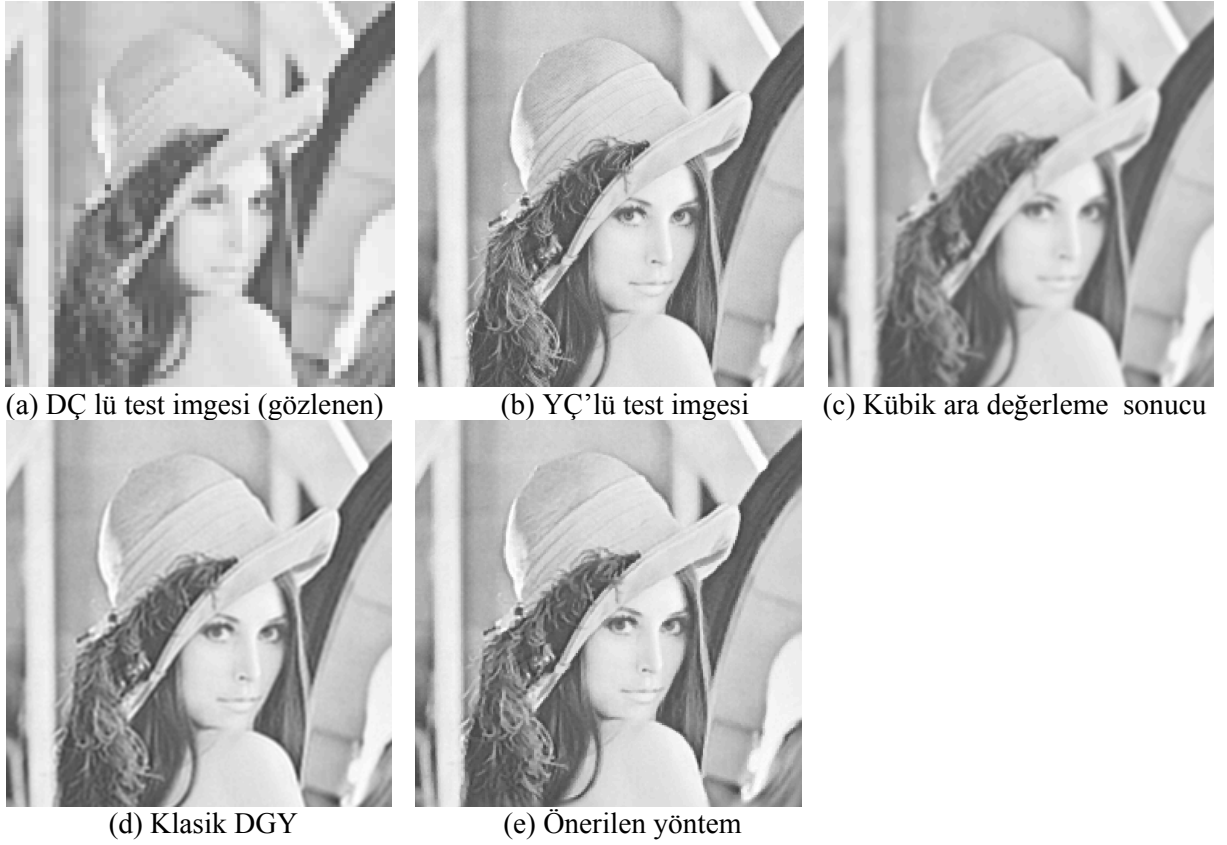
Şekil 4. a) Orijinal b) Kübik ara değerlendirme c) Klasik DGY d) Önerilen yöntem

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda standart test imgesi olarak cameraman, lena, boat ve barbara imgeleri kullanılmıştır. Düşük çözünürlüklü görüntü elde etmek için YÇ'lü test imgesi optik bulandırmayı temsil etmesi için standart sapması 1.0 olan (boyutu 4x4) Gaussian bulandırmaya tabi tutulmuştur. Daha sonra kamera bulandırmasını temsil etmesi için 4x4 lük ortalama süzgeçinden geçirilmiş ve 1:4 oranında alt örneklenmiştir. Elde edilen DÇ'lü görüntülerden bir örneği Şekil 5a'da verilmiştir. Şekil 5b'de orijinal test imgesi, c,d ve e'de ise sırasıyla kübik ara değerlendirme, klasik DGY ve önerilen yöntem sonucu elde edilen imgeler görülmektedir. Elde edilen deney sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi önerilen yöntemle ortalama 2 dB lik bir kazanım gerçekleşmiştir.

Tablo 1. Deney sonuçları

İmge	Kübik	Klasik DGY	Önerilen
cameraman	25.55	29.04	31.33
lena	28.86	32.17	33.33
boat	29.05	32.80	33.72
barbara	25.04	27.32	29.02



Şekil 5. Lena görüntüsüne ait deney sonuçları

## 6. TARTIŞMA

Bu çalışmada, DÇ görüntülerden YÇ'lü görüntü elde ederken aykırı değer ayıklaması ve kenar koruması yapılarak başarılı bir şekilde YÇ'lü görüntüye ulaşılmıştır. YÇ uygulamalarında model ve hareket parametreleri önceden tahmin edilerek YÇ görüntü elde edilmeye çalışılır. İyi bir YÇ çalışması hesaplanan/öngörülen bu iki parametrenin doğruluğuna bağlıdır. Bu çalışmada, bu parametrelerin önceden bilindiği kabul edilmiştir. Bu parametreleri hem tahmin eden hem de YÇ elde etmeye çalışan yöntemler mevcuttur. Çalışmanın bundan sonraki kısmında modeldeki kabullenmeleri azaltarak parametreleri gerçeğe daha yakın tahmin etme ve YÇ'lü görüntü elde etmeyi bir arada gerçekleştiren bir yöntem hedeflenmektedir. Ayrıca, gürültü karakteristiğini modele yansıtıp etkilerini azaltma çalışması da eklenecektir.

## KAYNAKLAR

- Baker S., Kanade T.**, 2000, Limits on superresolution and how to break them, *Proc.of 2000 IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 372-379.
- Barber, C. B., Dobkin D.P., Huhdanpaa H.T.**, 1996, The quickhull algorithm for convex hulls, *ACM Transactions on Mathematical Software*, 22(4): 469-483.
- Chiang M. C., Boulte T. E.**, 2000, Efficient super-resolution via image warping, *Image and Vision Computing.*, 18(10):761-771.
- Elad M., Feuer A.**, 1997, Restoration of a single superresolution image from several blurred, noisy and undersampled measured images, *IEEE Transactions on Image Processing*, 6(12): 1646-1658.
- Elad M., Hel-Or Y.**, 2001, A fast superresolution reconstruction algorithm for pure translational motion and common space invariant blur, *IEEE Trans. Image Processing*, 10: 1187-1193.
- Farsiu, S., Robinson D., Elad M., Milanfar P.**, 2003, Robust shift-and-add approach to super-resolution, *Proceedings of the SPIE Annual Meeting*, San Diego, CA.
- Farsiu S., Robinson M. D., Elad M., Milanfar P.**, 2004, Fast and robust multiframe super resolution, *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(10): 1327-1344.
- Jahne B.**, 1995, *Digital Image Processing: concept, algorithms, and scientific applications 3rd edition*, Springer-Verlag.
- Katsaggelos A.K., Efstratiadis S.K.**, 1990, A class of iterative signal restoration algorithms, *IEEE Trans. Acoust, Speech, Signal Process*, ASSIP-38: 778-786.

- Keren D., Peleg S., Brada R.**, 1998, Image sequences enhancement using subpixel displacements, *In Proc. of the IEEE Computer Society Conference of Computer Vision and Pattern Recognition*, 742-746.
- Kim S., Su W.**, 1993, Recursive high resolution reconstruction of blurred multiframe images, *IEEE Trans. of Image Proc.*, 534-539.
- Lin Z., Shum H.**, 2004, Fundamental limits of reconstruction based superresolution algorithms under local translation, *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(1): 83-97.
- Landweber L.**, 1951, An iterative formula for Fredholm integral equations of the first kind, *American Journal of Mathematics*, 615-624.
- Nguyen N., Milanfar P., Gloup G.H.**, 2001, A computationally efficient image superresolution algorithm, *IEEE Trans. Image Processing*, 10: 573-583.
- Özkan M. K., Tekalp A. M., Sezan M. I.**, 1994, POCS based restoration of space-varying blurred images, *IEEE Transactions on Image Processing*, 2(4): 450-454.
- Pan R., Reeves S.J.**, 2006, Efficient Huber-Markov edge preserving image restoration, *IEEE Transactions on Image Processing*, 5(2): 3728-3735
- Park S.C., Park M. K., Kang M.C.**, 2003, Superresolution image reconstruction : A technical overview, *IEEE Signal Processing Magazine*.
- Schultz R., Stevenson R.**, 1995, Improved definition video frame enhancement, *In Proc. of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 4: 2169-2172.
- Tekalp A.M., Özkan M.K., Sezan M.I.**, 1992, High resolution image reconstruction from lower resolution image sequences and space varying image restoration, *Proc. Of the IEEE International Conference of Acoustics, Speech and Signal Processing*, San Fransisco CA, 3:169-172.
- Tsai R.Y., Huang T.S.**, 1984, Multiframe image restoration and registration, *Advances in Computer Vision and Image Processing*, 1: 317-339.
- Trimeche M., Bilcu R. C., Yrjänäinen J.**, 2006, Adaptive outlier rejection in image super-resolution, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 1-12.