

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAYISAL GÖRÜNTÜLERİN BOYUTLARININ ARA  
DEĞERLEME YÖNTEMİ İLE BÜYÜTÜLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektronik Müh. Emre Kara**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKT. ELEKTR. MÜH.**

**Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Cabir Vural**

**Haziran 2006**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# SAYISAL GÖRÜNTÜLERİN BOYUTLARININ ARA DEĞERLEME YÖNTEMİ İLE BÜYÜTÜLMESİ

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik Müh. Emre Kara

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKT. ELEKTR. MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Bu tez 16 / 06 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Cabir Vural  
Jüri Başkanı

Prof Dr Abdullah Ferikoğlu  
Üye

Doç. Dr. Saadettin Aksoy  
Üye

## TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aŐamasında bana her tŒrlŒ desteği veren danıŐman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Cabir Vural'a, sıklı takibinde olduğum ama bir tŒrlŒ yetiŐemedięim, hayatımın her alanında olduğu gibi, seğtiğim meslekte de benden engin bilgi birikimi ve tecrŒbesini esirgemeyen abim sayın Fatih Kara'ya, zor ve zaman zaman uykusuz gŒnlerde ilgisi ve desteği ile bana yardımların en bŒyŒęŒnŒ yapan hayat arkadaŐım, eŐim Esra Kara'ya teŐekkŒrŒ borę bilirim.

Ayrıca ęalıŐmalarımı yapmak için iş yerinden bana elinden gelen her tŒrlŒ imkanı sağlayan, proje yŒrŒtŒcŒmŒz sayın Ali Namık Aloğlu'na, ayrıca bilime verdiği Œnem ile, desteklerini her zaman yanımızda hissettiğimiz TUBITAK-UEKAE yŒnetici ve camiasına da teŐekkŒr ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ARA DEĞERLEME HAKKINDA TEMEL BİLGİLER.....	4
2.1. Ara Değerlemeye Genel Bir Bakış.....	4
2.2. Görüntü İşlemede Ara Değerleme ve Kullanım Alanları.....	6
2.2.1. Görüntü yeniden boyutlandırılması.....	7
2.2.2. Görüntü döndürülmesi.....	8
2.3. Ara Değerleme Yöntemleri.....	9
2.4. Ara Değerleme Sonucu Oluşan Yan Etkiler.....	11
2.4.1 İstenmeyen etkilerin önlenmesi.....	12
2.5. Ara Değerleme Yöntemlerinin Gelişimi ve Kıyaslanması.....	13
2.6. Ara Değerleme Yöntemleri Temelleri.....	17
2.7. İdeal Ara Değerleme.....	18

### BÖLÜM 3.

UYARLAMALI OLMAYAN METODLAR .....	21
3.1. Sinc Ara Değerleme Yöntemi.....	21
3.2. En Yakın Komşuluk Ara Değerleme Yöntemi.....	25
3.3. Doğrusal Ara Değerleme Yöntemi.....	26
3.4. Karesel Ara Değerleme Yaklaşıklığı.....	27
3.5. Karesel Ara Değerleme Yöntemi.....	30
3.6. B-Spline Ara Değerleme Yaklaşıklığı .....	31
3.7. Kübik Ara Değerleme Yöntemi.....	33
3.7.1 Kübik 2 noktalı ara değerleme.....	33
3.7.2 Kübik 6 ve 8 noktalı ara değerleme.....	34
3.8. Lagrange Ara Değerleme Yöntemi.....	36

### BÖLÜM 4.

UYARLAMALI METODLAR.....	39
4.1. Kenar Duyarlı Görüntü Ara Değerleme Yöntemi.....	38
4.1.1 İki boyutlu durum.....	41
4.2. Yerel Eğim Özelliklerini Baz Alan Uyarlamalı Ara Değerleme Yöntemleri.....	42
4.2.1. Uyarlamalı doğrusal ara değerleme yöntemi.....	42
4.2.2. Uyarlamalı kübik ara değerleme yöntemi.....	45

### BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	46
5.1. Ara Değerleme Metotlarının Görsel Sonuçları.....	46
5.1.1 Dört kat büyütme için görsel sonuçlar.....	46
5.1.2 İki kat büyütme için görsel sonuçlar .....	53
5.2. Fourier Analizi.....	57
5.2.1 Geçirme bandı.....	57
5.2.2 Kesim frekansı.....	58
5.2.3 Söndürme bandı.....	58

5.3. Nicel Özelliklere Göre Değerlendirme.....	58
5.4. Hesap Yüğü Değerlendirme.....	59
5.5. Yorumlar.....	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	65

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$^{\circ}$	: Derece, Açı değeri
${}_{2D}h$	: İki boyutlu ara değerlendirme fonksiyonu
$N$	: Tam sayılar kümesi
${}^{ideal}h$	: İdeal ara değerlendirme fonksiyonu
${}^{sinc}h_N$	: N boyutlu sinc ara değerlendirme fonksiyonu
${}^{quad}h_N$	: N boyutlu Karesel ara değerlendirme fonksiyonu
${}^{cubic}h_N$	: N boyutlu kübik ara değerlendirme fonksiyonu
${}^{lagra}h_N$	: N boyutlu lagrange ara değerlendirme fonksiyonu
$k$	: Kenar koruma hassasiyet katsayısı
$\mu$	: Ağırlık katsayısı
$\alpha$	: Keskinlik sabiti
$G_{bil}^A$	: Uyarlamalı doğrusal ara değerlendirme fonksiyonu
$G_{bic}^A$	: Uyarlamalı kübik ara değerlendirme fonksiyonu
$G_{bil}$	: Doğrusal ara değerlendirme fonksiyonu
$G_{bic}$	: Kübik ara değerlendirme fonksiyonu
$SNR$	: İşaretin gürültüye oranı
sn	: Saniye
1-D	: Bir boyutlu
2-D	: İki boyutlu
R	: Gerçel sayılar kümesi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1a	Bir ara değerlendirme uygulaması örneği, sayısal yakınlaştırma Orijinal Görüntü.....	2
Şekil 1.1b	Bir ara değerlendirme uygulaması örneği, sayısal yakınlaştırma Optik yakınlaştırılmış görüntü.....	2
Şekil 1.1c	Bir ara değerlendirme uygulaması örneği, sayısal yakınlaştırma Ara değerlendirme yöntemleri ile sayısal yakınlaştırılmış görüntü.	2
Şekil 2.1	Bir Boyutlu Orijinal İşaret .....	5
Şekil 2.2	İşaretin Zaman Uzayında Genişletilmiş Hali .....	5
Şekil 2.3	İşaretin Ara Değerleme Sonucu Yeniden Oluşturulması .....	5
Şekil 2.4	Görüntü ara değerlemesi kullanım örnekleri: yeniden boyutlandırma ve konumlama.....	6
Şekil 2.5	Görüntü yeniden boyutlandırılması.....	7
Şekil 2.6	Görüntü döndürülmesi .....	8
Şekil 2.7	Uyarlamalı yöntemlerde kenarların ve bölgelerin belirlenmesi.....	10
Şekil 2.8	Ara değerlendirme sonucu oluşan istenmeyen üç etki .....	11
Şekil 2.9	Uyarlamalı algoritmalarda küçük ölçekli dokuların bozulması	12
Şekil 2.10	Örtüşmeli ve örtüşme önlenmiş görüntü örneği .....	12
Şekil 2.11	$(x, y)$ noktasındaki $4 \times 4$ iki boyutlu ara değerlendirme.....	17
Şekil 2.12a	İdeal Ara Değerleme Fonksiyonu $ x  < 3$ için.....	20
Şekil 2.12b	İdeal Ara Değerleme Fourier Dönüşümünün Genliği.....	20
Şekil 2.12c	İdeal Ara Değerleme Genliğinin Logaritmik Çizimi .....	20
Şekil 3.1a	Sonlandırılmış sinc ara değerlendirme fonksiyonu $N = 5$ Sınırlandırılmış fonksiyon.....	22
Şekil 3.1b	Sonlandırılmış sinc ara değerlendirme fonksiyonu $N = 5$ 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu.....	22



Şekil 3.1c	Sonlandırılmış sinc ara değerlendirme fonksiyonu $N = 5$ Sınırlanmış fonksiyonun genlik spektrumu.....	22
Şekil 3.1d	Sonlandırılmış sinc ara değerlendirme fonksiyonu $N = 5$ Genlik spektrumunun logaritmik çizimi.....	22
Şekil 3.2a	Sonlandırılmış sinc ara değerlendirme $N = 6$ fonksiyonu Sınırlanmış fonksiyon.....	23
Şekil 3.2b	Sonlandırılmış sinc ara değerlendirme $N = 6$ fonksiyonun 2 boyutlu sınırlanmış sinc fonksiyonu.....	23
Şekil 3.2c	Sonlandırılmış sinc ara değerlendirme $N = 6$ fonksiyonun Sınırlanmış fonksiyonun genlik spektrumu.....	23
Şekil 3.2d	Sonlandırılmış sinc ara değerlendirme $N = 6$ fonksiyonun Genlik spektrumunun logaritmik çizimi.....	23
Şekil 3.3a	Blackman-Harris penrecelenmiş sinc ara değerleme yöntemi $N = 6$ fonksiyonu Sınırlanmış fonksiyon.....	24
Şekil 3.3b	Blackman-Harris penrecelenmiş sinc ara değerlendirme yöntemi $N = 6$ fonksiyonu 2 boyutlu sınırlanmış sinc fonksiyonu.....	24
Şekil 3.3c	Blackman-Harris penrecelenmiş sinc ara değerleme yöntemi $N = 6$ fonksiyonu Sınırlanmış fonksiyonun genlik spektrumu.....	24
Şekil 3.3d	Blackman-Harris penrecelenmiş sinc ara değerleme yöntemi $N = 6$ fonksiyonu Genlik spektrumunun logaritmik çizimi.....	24
Şekil 3.4a	En yakın komşuluk ara değerlendirme yöntemi fonksiyonu Sınırlanmış fonksiyon.....	26
Şekil 3.4b	En yakın komşuluk ara değerlendirme yöntemi fonksiyonu 2 boyutlu sınırlanmış sinc fonksiyonu.....	26
Şekil 3.4c	En yakın komşuluk ara değerlendirme yöntemi fonksiyonu Sınırlanmış fonksiyonun genlik spektrumu.....	26
Şekil 3.4d	En yakın komşuluk ara değerlendirme yöntemi fonksiyonu Genlik spektrumunun logaritmik çizimi.....	26

Şekil 3.5a	Doğrusal ara değerlendirme yöntemi fonksiyonu Sınırlandırılmış fonksiyon.....	27
Şekil 3.5b	Doğrusal ara değerlendirme yöntemi fonksiyonu 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu.....	27
Şekil 3.5c	Doğrusal ara değerlendirme yöntemi fonksiyonu Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu.....	27
Şekil 3.5d	Doğrusal ara değerlendirme yöntemi fonksiyonu Genlik spektrumunun logaritmik çizimi.....	27
Şekil 3.6a	Karesel ara değerlendirme yaklaşıklığı Sınırlandırılmış fonksiyon.....	30
Şekil 3.6b	Karesel ara değerlendirme yaklaşıklığı 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu.....	30
Şekil 3.6c	Karesel ara değerlendirme yaklaşıklığı Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu.....	30
Şekil 3.6d	Karesel ara değerlendirme yaklaşıklığı Genlik spektrumunun logaritmik çizimi.....	30
Şekil 3.7a	Karesel ara değerlendirme yöntemi fonksiyonu Sınırlandırılmış fonksiyon.....	31
Şekil 3.7b	Karesel ara değerlendirme yöntemi fonksiyonu 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu.....	31
Şekil 3.7c	Karesel ara değerlendirme yöntemi fonksiyonu Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu.....	31
Şekil 3.7d	Karesel ara değerlendirme yöntemi fonksiyonu Genlik spektrumunun logaritmik çizimi.....	31
Şekil 3.8a	B-spline ara değerlendirme yaklaşıklığı N=4 Sınırlandırılmış fonksiyon.....	33
Şekil 3.8b	B-spline ara değerlendirme yaklaşıklığı N=4 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu.....	33
Şekil 3.8c	B-spline ara değerlendirme yaklaşıklığı N=4 Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu.....	33
Şekil 3.8d	B-spline ara değerlendirme yaklaşıklığı N=4 Genlik spektrumunun logaritmik çizimi.....	33

Şekil 3.9a	Kübik ara değerlendirme yöntemi $N=6$ fonksiyonu Sınırlandırılmış fonksiyon.....	36
Şekil 3.9b	Kübik ara değerlendirme yöntemi $N=6$ fonksiyonu 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu.....	36
Şekil 3.9c	Kübik ara değerlendirme yöntemi $N=6$ fonksiyonu Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu.....	36
Şekil 3.9d	Kübik ara değerlendirme yöntemi $N=6$ fonksiyonu Genlik spektrumunun logaritmik çizimi.....	36
Şekil 3.10a	Lagrange ara değerlendirme yöntemi $N=4$ fonksiyonu Sınırlandırılmış fonksiyon.....	38
Şekil 3.10b	Lagrange ara değerlendirme yöntemi $N=4$ fonksiyonu 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu.....	38
Şekil 3.10c	Lagrange ara değerlendirme yöntemi $N=4$ fonksiyonu Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu.....	38
Şekil 3.10d	Lagrange ara değerlendirme yöntemi $N=4$ fonksiyonu Genlik spektrumunun logaritmik çizimi.....	38
Şekil 4.1a	Bir boyutlu durumda doğrusal ve kenar duyarlı ara değerlendirme Orijinal (yüksek çözünürlüklü) görüntü.....	40
Şekil 4.1b	Bir boyutlu durumda doğrusal ve kenar duyarlı ara değerlendirme Alçak geçiren filtre uygulanmış .....	40
Şekil 4.1c	Bir boyutlu durumda doğrusal ve kenar duyarlı ara değerlendirme Alt örneklenmiş işaret.....	40
Şekil 4.1d	Bir boyutlu durumda doğrusal ve kenar duyarlı ara değerlendirme Doğrusal ara değerlendirme .....	40
Şekil 4.1e	Bir boyutlu durumda doğrusal ve kenar duyarlı ara değerlendirme Doğrusal ara değerlendirme.....	40
Şekil 4.2a	Kenar duyarlı yöntemin iki boyutlu düzleme uyarlanması Yatay eksenin hesaplanması.....	41
Şekil 4.2b	Kenar duyarlı yöntemin iki boyutlu düzleme uyarlanması Dikey eksenin hesaplanması.....	41
Şekil 4.2c	Kenar duyarlı yöntemin iki boyutlu düzleme uyarlanması Köşegen eksenin hesaplanması .....	41
Şekil 4.3	Ters eğimlerin ağırlıklarının maskesi .....	42

Şekil 4.4	Bir boyutta doğrusal ara değerlendirme .....	44
Şekil 5.1	Orijinal test görüntüsü .....	47
Şekil 5.2	Çözünürlüğü dört kat düşürülmüş görüntü .....	47
Şekil 5.3	En yakın komşuluk ara değerlendirme yöntemi ile dört kat büyütülmüş görüntü .....	48
Şekil 5.4	Doğrusal ara değerlendirme yöntemi ile dört kat büyütmüş görüntü.....	48
Şekil 5.5	Sonlandırılmış sinc (N=5) ara değerlendirme yöntemi ile dört kat büyütülmüş görüntü.....	49
Şekil 5.6	Sonlandırılmış sinc (N=6) ara değerlendirme yöntemi ile dört kat büyütülmüş görüntü .....	49
Şekil 5.7	Karesel ara değerlendirme yaklaşıklığı ile dört kat büyütmüş görüntü.....	50
Şekil 5.8	Karesel ara değerlendirme yöntemi ile dört kat büyütmüş görüntü	50
Şekil 5.9	B-spline ara değerlendirme yaklaşıklığı ile dört kat büyütmüş görüntü .....	51
Şekil 5.10	Kübik ara değerlendirme yöntemi (N=6) ile dört kat büyütmüş görüntü .....	51
Şekil 5.11	Lagrange ara değerlendirme yöntemi (N=4) ile dört kat büyütülmüş görüntü .....	52
Şekil 5.12	Blackman-Harris (N=5) ara değerlendirme yöntemi ile dört kat büyütülmüş görüntü.....	53
Şekil 5.13	Çözünürlüğü iki kat azaltılmış görüntü .....	53
Şekil 5.14	Kenar duyarlı görüntü ara değerlendirme yöntemi ile iki kat büyütülmüş görüntü .....	53
Şekil 5.15	Uyarlamalı doğrusal ara değerlendirme yöntemi ile iki kat büyütülmüş görüntü .....	54
Şekil 5.16	Uyarlamalı kübik ara değerlendirme yöntemi ile iki kat büyütülmüş görüntü .....	54
Şekil 5.17	Doğrusal ara değerlendirme yöntemi ile iki kat büyütmüş görüntü.....	55
Şekil 5.18	Kübik (N=6) ara değerlendirme yöntemi ile iki kat büyütmüş görüntü.....	55

Şekil 5.19 Karesel ara değerleme yöntemi ile iki kat büyütölmüş görüntü. 56

Şekil 5.20 Lagrange (N=4) ara değerleme ile iki kat büyütölmüş görüntü.. 56

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 Üç ara değerleme yönteminden daha fazlasını kıyaslayan yayınlar .....	15
Tablo 5.1 Uyarlamalı olmayan yöntemlerin iki kat büyütme için SNR tablosu .....	59
Tablo 5.2 Uyarlamalı yöntemlerin iki kat büyütme için SNR tablosu .....	59
Tablo 5.3 Uyarlamalı olmayan yöntemlerin iki kat büyütme için hesap yükü tablosu .....	60
Tablo 5.4 Uyarlamalı olmayan yöntemlerin iki kat büyütme için hesap yükü tablosu .....	60

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: B-spline, kübik polinomlar, Ara değerlendirme, Görüntü Yeniden Örnekleme

Ara değerlendirme, görüntü işleminin temel uygulamalarından biridir ve görüntü yeniden boyutlandırılmasında sıkça kullanılmaktadır. İdeal ara değerlendirme fonksiyonu sonsuz impuls cevaplı olduğundan sonlu impuls cevaplı ara değerlendirme fonksiyonları geliştirilmiştir. Sonlu impuls cevaplı yöntemlerin iki çeşidi vardır: Uyarlamalı metotlar ve uyarlamalı olmayan metotlar. Ara değerlendirme görüntü kalitesi seçilen metot ile yakından ilgilidir. Tezde bu metotların incelenmesi ve kıyaslanması amaçlanmıştır. İncelenen metotlardan uyarlamalı olmayanları; 1) sınırlandırılmış ve pencerelendirilmiş sinc, 2) en yakın komşuluk, 3) doğrusal, 4) karesel, 5) kübik, 6) B-spline ve 7) Lagrange yöntemleridir, uyarlamalı yöntemler ise 1) kenar duyarlı ve 2) yerel eğim özelliklerini temel alan yöntemlerdir. Yöntemler, zaman ve Fourier uzayı analizi, görüntü kalitesi, nicel ölçümler ve hesap yükü gibi ölçütler hesaba katılarak kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslamaların sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır: En iyi görüntü kalitesini veren yöntem yerel eğim özelliklerini temel alan uyarlamalı kübik ara değerlemedir. Uyarlamalı olmayan metotlar arasında en iyi görüntü kalitesi sağlayan kübik ara değerlendirme, en hızlı metotlar ise en yakın komşuluk ve doğrusal ara değerlemedir. Hız ve kalite bakımından optimum yöntem ise karesel ara değerlemedir. Her ne kadar tezde en iyi yöntemler belirlenmeye çalışılmışsa da görüntünün özelliklerine ve uygulamaya göre en doğru yöntem değişebilir. Bu nedenle her bir uygulama ve görüntü için yöntemlerin ve parametrelerinin yeniden gözden geçirilmesi önerilir.

# **INCREASING THE SIZE OF DIGITAL IMAGES WITH INTERPOLATION METHOD**

## **SUMMARY**

Key words: B-spline, cubic polynomials, image resampling, interpolation

Image interpolation is a key aspect of digital image processing and frequently used for resampling of images. Since the ideal interpolation function is spatially unlimited, several interpolation kernels of finite size have been introduced. There are two different kinds of finite interpolation methods: adaptive and non-adaptive interpolation techniques. The interpolated image quality is closely related to chosen interpolation technique. This thesis is aimed to investigate and compare different interpolation techniques. The non-adaptive methods discussed include 1) truncated and windowed sinc, 2) nearest neighbor, 3) linear, 4) quadratic, 5) cubic, 6) B-spline and 7) Lagrange methods. The adaptive ones examined are 1) edge sensitive and 2) adaptive image interpolation based on local gradient features. The comparison is done by means of spatial and Fourier analysis, interpolated image quality, quantitative analysis and computational cost. According to the comparisons, the best method for interpolated image quality appears to be adaptive image interpolation based on local gradient features. Best method among the non-adaptive methods is cubic interpolation. The fastest algorithms seem to be nearest neighbour and linear interpolation, and the optimum method that satisfies both speed and quality requirements is quadratic interpolation. Although the thesis tries to identify the best interpolation method, the most suitable method for an image or application differs. Hence, comparing the selected methods for a given application is strongly recommended.



## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Günümüzde, pek çok alanda sayısal görüntüleme sistemleri kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan sayısal fotoğraf makineleri ve kameralarda, sayısal televizyon yayıncılığında, sağlık sektöründeki görüntüleme araçları gibi pek çok alanda sayısal görüntüler çeşitli yönlerden işlenmektedir. En çok ihtiyaç duyulan sayısal görüntü işleme yöntemlerinden biri de, ayrıntıların ortaya çıkarılması, görüntünün belli sınırlar ile yeniden üretilmesi, döndürülmesi gibi pek çok sebeplerden ötürü, görüntünün boyutunun ve şeklinin değiştirilmesi işlemidir.

Bu ihtiyacın giderilebilmesi için uzun yıllar çalışmalar yapılmış ve yöntemler geliştirilmiştir, halen de bu yöntemler gelişimini sürdürmektedir. Eğer söz konusu olan görüntü büyütme işlemi tek bir görüntü örneği kullanılarak başarılmak isteniyorsa, bu amaç için ara değerlendirme yöntemleri kullanılmalıdır. Herkes tarafından kolayca elde edilebilen sayısal fotoğraf makinelerinde sıkça kullanılan sayısal yakınlaştırma özelliği, ara değerlemenin en iyi örneklerinden biridir. Normal şartlarda pahalı lensler ile yapılabilecek bu iş, görüntü kalitesindeki kayıplar ile birlikte, ara değerlendirme yöntemleri ile donanımsal hiçbir değişiklik yapılmadan başarılabılır [Şekil 1.1].

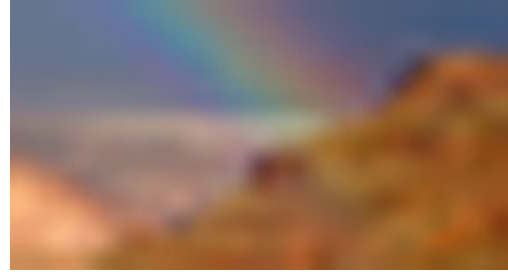
Şekil 1.1c'den gözlemlenebildiği gibi, her ne kadar yakınlaştırma işlemi başarılıysa da başta bulanıklılık gibi etkilerden dolayı görüntüde ciddi kayıplar oluşmuştur. Elbette ki, Şekil 1.1a'da olduğu gibi düşük çözünürlüklü bir görüntüden şekil 1.1b'deki gibi kayıpsız bir görüntü elde etmek mümkün değildir. Ancak, görüntüyü daha düşük veya yüksek çözünürlüğe geçirirken kullanılan yöntemin de yeniden oluşturulacak görüntünün kalitesi üzerinde önemli bir etkisi vardır.



a)



b)



c)

Şekil 1.1 Bir ara değerlendirme uygulaması örneği, sayısal yakınlaştırma

- a) Orijinal Görüntü
- b) Optik yakınlaştırılmış görüntü
- c) Ara değerlendirme yöntemleri ile sayısal yakınlaştırılmış görüntü

Tezin amacı, öncelikle ara değerlendirme kavramı hakkında matematiksel temeller vermek ve uygulama sırasında oluşabilecek yan etkiler hakkında okuyucuyu bilgilendirmek, ara değerlendirme yöntemlerinin başlıcalarını matematiksel ve görsel olarak inceleyip, matematiksel sonuçlar ile görsel sonuçlar arasındaki ilişkiyi de faydalanarak yöntemleri değerlendirmek, kıyaslamak ve sonucunda görüntü boyutunun değiştirilmesi hakkında ayrıntılı bir bakış sunabilmektir.

Tez içerisinde ikinci bölüm, ara değerlendirme hakkındaki temel bilgilere ayrılmıştır. İlk olarak, ara değerlendirme genel olarak ele alınmış ve tanımlanmış, anlamayı kolaylaştırması açısından ara değerlendirme bir boyutta (1-D) açıklanmıştır. İkinci olarak, ara değerlemenin görüntü işlemedeki kullanım alanları ele alınmış, ara değerlendirme metotları sınıflandırılmış ve her bir sınıf hakkında ayırt edici özellikler belirtilmiştir. Üçüncü olarak, ara değerlendirme sırasında oluşabilecek ve mümkün olduğunca önlenmesi gereken bozulmalar görüntüler üzerinde örnekler ile anlatılmış, ara değerlemenin 1940'lı yılların başından günümüze kadar olan gelişiminden, şimdiye kadar yapılmış benzeri kıyaslama çalışmalarından referanslar da verilerek bahsedilmiştir. İkinci bölümde son olarak ara değerlemenin iki boyuta (2-D)

genelleştirilmesine yer verilmiş ve 2-D ideal ara değerlendirme, matematiksel temellere yer verilerek anlatılmıştır.

Üçüncü bölüm, uyarlamalı olmayan ara değerlendirme yöntemlerinin tanıtımına ayrılmıştır. Bu bölümde de daha ayrıntılı bahsedileceği üzere, uyarlamalı olmayan yöntemler, giriş görüntüsündeki tüm piksellere eşit davranıp, görüntü üzerinde sabit parametrelili filtreler kullanarak boyutunu değiştirmeyi amaçlarlar. Bölüm içerisinde, farklı başlıca sekiz ara değerlendirme metodunun çeşitli şekilleri incelenmiş, her bir yöntem kısaca açıklanmış, yöntemlerin sonuçları hakkında fikir verebilmesi açısından, zaman uzayı ve Fourier uzayı dönüşümünün grafiklerine yer verilmiş ve grafikleri yorumlanmıştır.

Dördüncü bölüm, uyarlamalı ara değerlendirme yöntemlerini ele almaktadır. Uyarlamalı yöntemler, tüm piksellere eşit davranmak yerine, giriş görüntüsünü piksel piksel inceleyip, kenar gibi görüntü özelliklerine göre davranışını değiştirirler. Bölümde kenar duyarlı görüntü ara değerlendirme yöntemine ve iki çeşit yerel eğim özelliklerini temel alan uyarlamalı ara değerlendirme yöntemlerine yer verilmiş, yöntemlerin temelleri ve avantajları anlatılmıştır.

Matematiksel ve görsel sonuçlar ve bu sonuçların değerlendirilmesi beşinci bölümde incelenmiştir. İlk olarak, test görüntüsü üzerinde çeşitli yöntemler uygulanıp sonuçlar bulunmuştur. Bir sonraki aşamada, uyarlamalı olmayan yöntemlerin Fourier dönüşümü sonuçları değerlendirilmiştir. Son olarak da yöntemlerin gerçek-zaman uygulamalara uygunluğu ve görüntülerin nicel değerlendirmesine yer verilmiştir.

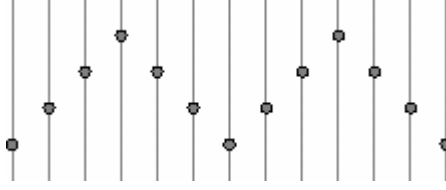
## BÖLÜM 2. ARA DEĞERLEME HAKKINDA TEMEL BİLGİLER

### 2.1. Ara Değerlemeye Genel Bir Bakış

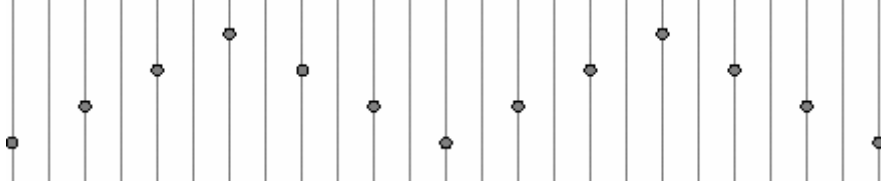
Ara değerlendirme, en basit ifade ile bilinmeyen bir değeri bilinen değerler ile tahmin etme olarak tanımlanabilir. Daha geniş tanımı ile ara değerlendirme, belirli bir aralıktaki ayrık verinin, sürekli veriye dönüştürülmesi ve sürekli verinin istenilen örnekleme hızında örneklenmesinin modellenmesidir. Ara değerlendirme, modelin uygulanacağı aralığın bilindiği kabul eder ve bu aralık içerisinde sürekli verinin, ayrık veri içerisindeki bilgilerden geri dönüştürülebileceği ileri sürer.

Bir başka ifade ile, ara değerlendirme, bir fonksiyonun örnekleri arasında kalan değerlerinin belirlenmesi işlemidir. Bu iş, ayrık giriş örneklerine sürekli bir fonksiyon uydurulması ile yapılır. Bu sayede istenilen örnekleme noktalarında tanımlanmamış değerlerin elde edilmesine olanak verilir. Örnekleme bant-sınırlı işaretlerden sonsuz bant genişlikli işaret üretirken, ara değerlendirme bunun tersi bir rol ile ayrık işarete alçak geçiren bir filtre uygulayarak işaretin bant genişliğini azaltır.

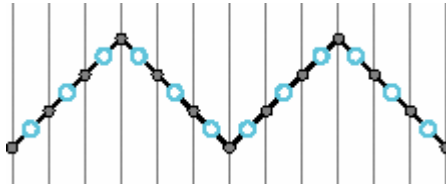
Ara değerlendirme, aşağıda bir boyutlu bir işaret için açıklanacak, daha sonra iki boyuta genelleştirilecektir. Örneğin, Şekil 2.1’de görülen bir boyutlu bir üçgen işaret alınır, zaman uzayında yatay eksen  $N$  kat artırılır (şekil üzerinde kolay anlaşılabilmesi açısından iki kat artırım yapılmıştır). Başka bir deyiş ile çift numaralı örnekler biliniyor iken, tek numaralı örnekler boş bırakılır (Şekil 2.2). Uygun bir  $h(x)$  fonksiyonu ile ara değerlendirilen yeni işaret üzerinde boş bırakılan “ $\square$ ” sembolü ile gösterilen değerler, bilinen çift numaralı değerler yardımı ile hesaplanıp yerlerine yerleştirilir ve işaret tanımlı olduğu aralıkta iki kat artırılmış olarak yeniden oluşturulur (Şekil 2.3). Bahsi geçen  $h(x)$  fonksiyonu, tezin konusunu oluşturan “ara değerlendirme yaklaşıklığı fonksiyonu” olarak adlandırılır.



Şekil 2.1 Bir Boyutlu Orijinal İşaret



Şekil 2.2 İşaretin Zaman Uzayında Genişletilmiş Hali



Şekil 2.3 İşaretin Ara Değerleme Sonucu Yeniden Oluşturulması

Örneğin Şekil 2.3'deki ara değerlendirilmiş işaret, doğrusal ara değerlendirme fonksiyonu kullanılarak türetilmiştir. Konu detaylı olarak ara değerlendirme yöntemleri kısmında ele alınacaktır.

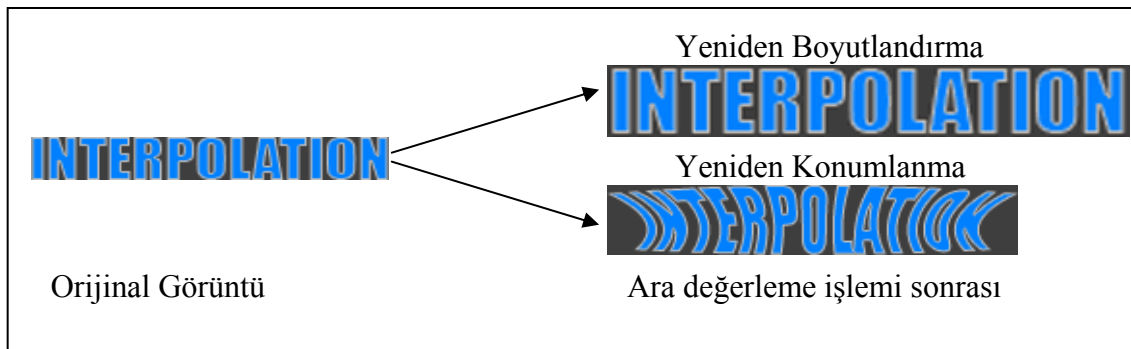
Özetle, ara değerlemenin önemli üç varsayımı aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1- Temel olan veri sürekli olarak tanımlanır.
- 2- Alınan veri örneklerinden faydalanılarak temel sürekli fonksiyon üzerindeki herhangi bir noktayı hesaplamak mümkündür.
- 3- Temel sürekli fonksiyonu hesaplariken temel alınan veriler ile fonksiyonun bu noktalardaki değerleri aynıdır.

Aşağıda, ara değerlemenin sayısal görüntü işleme uygulamaları kısım kısım kısa bir şekilde tartışılmıştır.

## 2.2. Görüntü İşlemede Ara Değerleme ve Kullanım Alanları

Ara değerlendirme işlemi, görüntü işlemenin temel fonksiyonlarından biridir. Görüntü ara değerlemesi ihtiyacı, örneğin mozaik etkisinin giderilmesi, görüntünün yeniden boyutlandırılması veya yeniden konumlandırılması (bozulması) gibi uygulamalarda ortaya çıkar. Görüntü yeniden boyutlandırılması, görüntü üzerindeki piksel sayısının artırılıp azaltılması amaçlanan durumlarda gereklidir. Yeniden konumlandırma ise görüntünün hem boyutunun ve hem de şeklinin değiştirildiği daha geniş kullanım senaryolarında, perspektif değiştirme, lens kaynaklı bozulmaları düzeltme, görüntüyü döndürme gibi alanlarda kullanılır[19]. Şekil 2.4’de bu iki temel kullanımın örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Görüntü ara değerlemesi kullanım örnekleri: yeniden boyutlama ve konumlama

Hem görüntü boyutlandırması hem de görüntü yeniden konumlanması gerçekleştirilirken sonuçlar önemli ölçüde ara değerlendirme algoritmasına bağlıdır. Ara değerlendirme sadece bir tahmin yöntemi olduğundan, görüntünün kalitesinde mutlaka bir kayıp olacaktır ve ara değerlemenin her uygulamasında bu kayıp artacaktır.

Görüntü ara değerlemesinin bilgisayar görmesinde de pek çok uygulaması vardır. Ara değerlendirme temel iki yeniden örnekleme adımlarından ilkidir ve ayrık dizinin sürekli görüntüye dönüştürülmesinde kullanılır. Oluşturulan sürekli görüntü bir sonraki adımda yeniden örneklenecek istenilen boyutta ayrık görüntü oluşturulur.

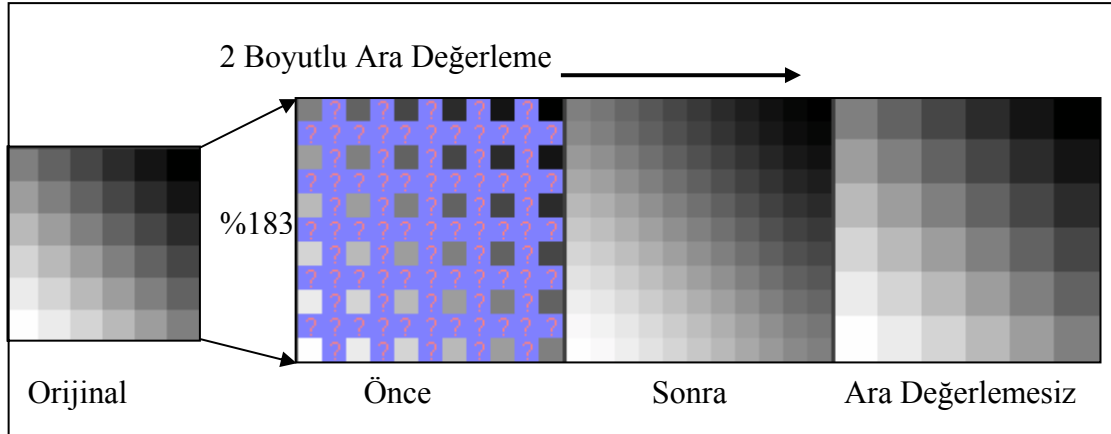
Geometrik hizalama ve kaydetme gibi alanlarda, görüntüleme cihazlarında görüntü kalitesini yükseltme veya kayıplı görüntü sıkıştırma alanında, sıkıştırılmış verinin açılması sırasında kayıp bilginin elde kalan veriler ile üretilmesinde yeniden örnekleme gereklidir.

Ara değerlendirme, oldukça faydalı olduğu biyomedikal uygulamalarında yaygın olarak, görüntü oluşturulmasında olduğu kadar görüntü ön işleminde de kullanılır. Örneğin, piksellerin örnekleme oranının değiştirilmesinde, tarayıcılar gibi görüntü yakalama aygıtlarından gelen değişik çözünürlüklere sahip yüksek çözünürlüklü ve düşük çözünürlüklü görüntülerin fiziksel alanda uydurulması, daha çok düşük çözünürlüklü görüntünün yüksek olan parçasına adapte edilmesi için kullanılır [20]. Bilgisayarlı tomografi ve manyetik rezonans görüntülemesinde görüntü yeniden üretimi, ara değerlemeye ters Radon dönüşümü yapılırken ihtiyaç duyar [20]. Sayısal anjiyografi gibi modern X-ışını görüntüleme sistemlerinde ara değerlendirme, bilgisayar destekli görüntü hizalanması ve maskelenmesinde kullanılır. Bunun ötesinde tanı ve tedavide, görüntü yakınlaştırılması ve döndürülmesinde, bilgisayar destekli cerrahi, görüntü yedeklemesi ve haberleşme alanlarında da ara değerlendirme kullanılmaktadır.

### **2.2.1. Görüntü yeniden boyutlandırılması**

Görüntü ara değerlemesi iki yönlü çalışır ve komşu piksellerin değerlerinden yola çıkarak en iyi yaklaşımla bilinmeyen piksel değerini tahmin etmeye çalışır.

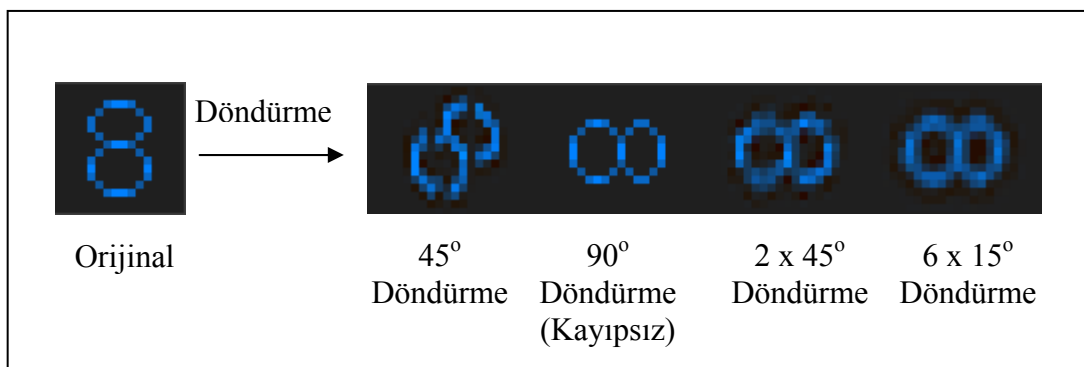
Şekil 2.5’de orijinal görüntünün boyutu %183 oranında artırılmıştır. Öncelikle düşük çözünürlüklü görüntüdeki pikseller, yüksek çözünürlüklü görüntü üzerinde birbirlerine eşit aralıklar ile yerleştirilmiş, soru işareti ile gösterilen bilinmeyen pikseller, bilinen pikseller yardımı ile hesaplanmıştır. Piksel değerleri bir noktadan diğerine aniden değişebilir. Şekil 2.5’de soru işareti ile gösterilmiş piksellerin etrafındaki pikseller komşu piksellerdir ve bu piksellerin sayısı ne kadar çok olur ve bu pikseller hakkında ne kadar çok bilgi edinilir ise o derece iyi bir ara değerlendirme yapılabilir. Görüntü ne kadar büyütülür ise komşu pikseller hakkındaki bilgi o derece azalacak ve sonuç aynı oranda kötüleşecektir. Ayrıca ara değerlendirme hiçbir zaman orijinal görüntüde olmayan bir ayrıntıyı görüntüye ekleyemez.



Şekil 2.5 Görüntü yeniden boyutlandırılması

### 2.2.2. Görüntü döndürülmesi

Ara değerlemenin diğer bir kullanım alanı da görüntünün döndürülmesi ya da şeklinin veya biçiminin değiştirilmesidir. Şekil 2.5’de verilen örnek, ara değerlendirme için kısmen uygun bir örnektir ve görüntü kalitesi fazla bozulmamıştır. Ancak görüntü döndürülmesi uygulamalarında görüntü kalitesinin daha büyük oranda azaldığı görülür. Şekil 2.6’daki görüntü döndürülmesi örneği bu durumu açıkça göstermektedir.



Şekil 2.6 Görüntü döndürülmesi

Yukarıdaki sonuçlar kübik algoritma kullanılarak elde edilmiş ve kayda değer kayıplar gözlemlenmiştir. Kontrasttaki toplam kayıp, renklerdeki keskinliğin kaybı



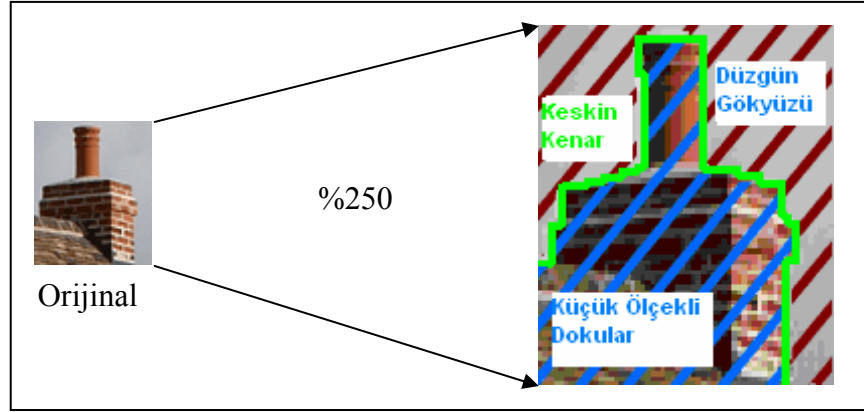
ile belli olmaktadır. Bu kayıplar ara değerleme algoritması ve konu alınan nesneye bağlı olarak oldukça azalabilir.

90° döndürme kayıpsızdır, çünkü hiçbir piksel iki piksel arası sınırdan yeniden konumlandırılmamış veya piksel değerlerini bölmemiştir. Ancak iki kez yapılan 45° döndürmede oluşan kalite kaybı açıkça görülmektedir, 90° dışında yapılan döndürmelerde, döndürme sayısındaki artış ile birlikte kaybı artığı Şekil 2.6 üzerinde görülmektedir.

### 2.3. Ara Değerleme Yöntemleri

Yaygın olarak kullanılan ara değerleme yöntemleri, uyarlamalı ve uyarlamalı olmayan yöntemler olarak iki kategoride ele alınabilir. Uyarlamalı yöntemler, görüntü boyunca keskin kenarlar veya yumuşak yüzeyler gibi neyin ara değerlemesinin yapıldığına bağlı olarak değişirler. Uyarlamalı olmayan yöntemler ise tüm piksellere eşit davranır. Ayrıca, uyarlamalı olmayan yöntemleri kendi içerisinde, zaman uzayında gösterimlerine göre alt sınıflara ayırmak doğru olabilir. Bu konudan, ara değerleme yöntemlerinin temelleri kısmında ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

Uyarlamalı olmayan yöntemlere, en yakın komşuluk, doğrusal, kübik, sinc ara değerlemesi gibi algoritmalar örnek gösterilebilir. Yöntemlerin karmaşıklığına bağlı olarak, 0'dan 256'ya kadar, belki daha da fazla komşu pikselleri kullanılarak ara değerleme yapılabilir. Daha çok komşu piksel içeren algoritmalar daha doğru sonuçlar verir, fakat bu, hesaplama süresindeki uzunluk gibi bir maliyet doğurur. Bu yöntemler hem yeniden boyutlandırma hem de yeniden konumlandırmada kullanılabilirler.



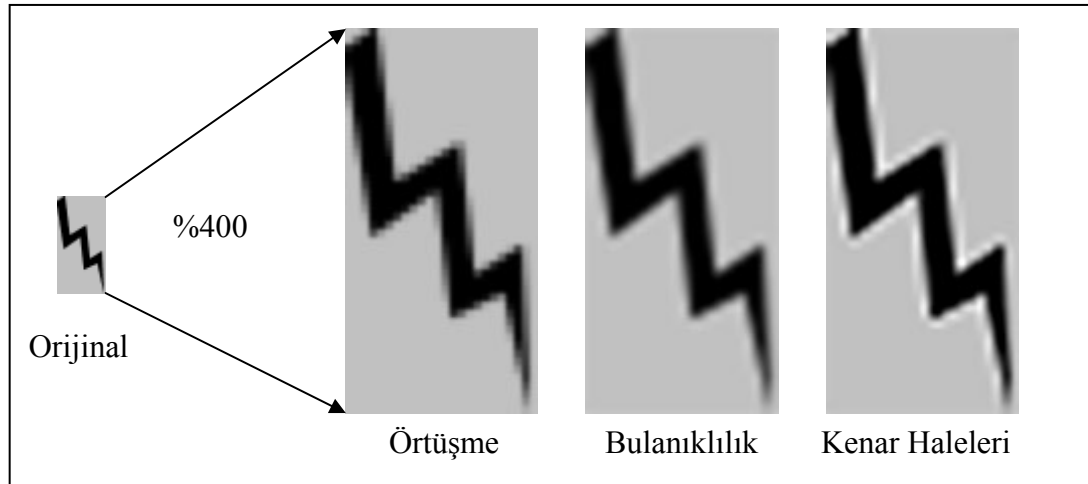
Şekil 2.7 Uyarlamalı yöntemlerde kenarların ve bölgelerin belirlenmesi

Uyarlamalı metotlara Qimage, PhotoZoom Pro, Genuine Fractals gibi çeşitli özel lisanslı algoritmalar girer. Bu algoritmaların amacı, genel olarak, bir kenar algılandığında, bu bölgeleri, göze hoş görünmeyen ara değerlendirme yan etkilerinden mümkün olduğunca gidermeye çalışmaktır.

Geleneksel uyarlamalı olmayan görüntü ara değerlendirme düzenekleri (kübik, karesel ara değerlendirme yöntemleri gibi) yaygındır ve hesaplama kolaylığından dolayı da geniş bir şekilde kullanılırlar. Ancak, yöntemlerin ciddi bulanıklılık sorunları vardır. Bu yöntemlerin uyarlamalı olmayan yapısından dolayı bulanıklılık oluştuğu için, uyarlamalı metotlara ihtiyaç duyulmuştur. Uyarlamalı yöntemler, keskin hat ve kenarların algılandığı bölgelerde farklı bir şekilde davranmaya başlayarak bu hat ve kenarların korunmasına çalışır. Görüntü büyütülürken oluşan istenmeyen ara değerlendirme etkilerini gidermeye yönelik hazırlandıkları için, görüntü yeniden konumlandırma ve döndürme işlemlerine uyarlamalı yöntemler uygun değildir. Örneğin Şekil 2.7’de düzgün gökyüzü bölgesi herhangi bir kenara sahip olmadığı için bilinen uyarlamalı olmayan metotlar ile ara değerlendirilebilir, ancak keskin kenar ve küçük ölçekli dokular bölgesinde uyarlamalı yöntem devreye girer, bu bölgelerdeki kenarları koruyarak ara değerlendirme sırasında oluşan istenmeyen yan etkilere engel olmaya çalışır.

## 2.4. Ara Değerleme Sonucu Oluşan Yan Etkiler

Tüm uyarlamalı olmayan algoritmalar istenmeyen üç etkiyi optimum dengede tutmaya çalışır, istenmeyen üç etki kenar haleleri, bulanıklık ve örtüşmedir. Örtüşme, oluşturulan sürekli görüntünün düzgün bir şekilde yeniden örneklenmemesinden kaynaklanan, kenarlarda mozaik benzer şekiller oluşturan bir etkidir. Bulanıklılık, resim üzerinde kenarlar gibi yüksek frekans bileşenlerinin kaybı durumunda oluşan, kenarlarda yumuşak geçiş şeklinde kendini gösteren bir etkidir. Kenar haleleri ise, bulanıklılığın tersi bir etki göstererek, görüntü aşırı yüksek geçiren bir filtreden geçirildiğinde ortaya çıkan, kenarlarda doğal görünmeyen piksellerin olduğu bir etkidir. Şekil 2.8’de bu etkiler bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

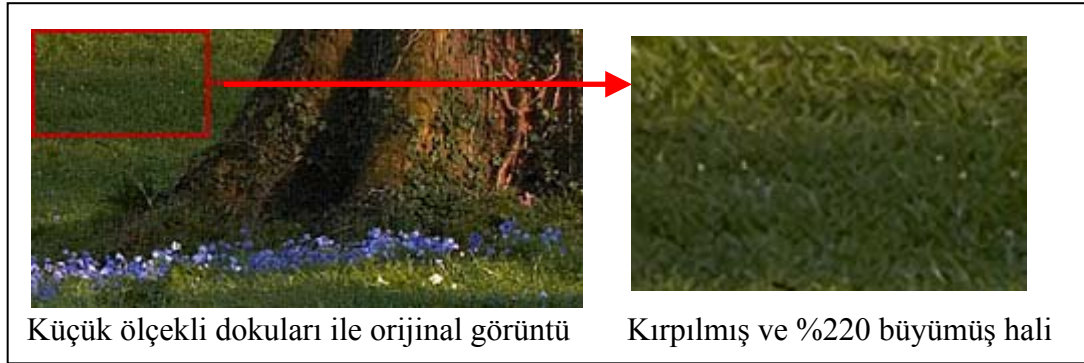


Şekil 2.8 Ara değerlendirme sonucu oluşan istenmeyen üç etki

En gelişmiş uyarlamalı olmayan algoritmaların çoğunluğu, bahsi geçen üç etkiden birisini azaltırken diğer ikisine belli ölçülerde göz yummak zorunda kalır.

Uyarlamalı algoritmalar ise yukarıda anlatılan üç etkiyi de önleyebilirler. Bununla birlikte, küçük ölçekli bölgelerde, yakından incelendiğinde görüntü gibi olmayan dokular ve tuhaf pikseller oluşturabilirler. Durumun bir örneği Şekil 2.9’da verilmiştir. Çimen dokusuna yakından bakıldığında normal olmayan pikseller

görülmektedir. Ancak bu durum bir yan etki olması yanı sıra bir yarar da sağlamaktadır. Çimen üzerinde olmayan bir ayrıntı zenginleştirilerek göz aldatılmakta ve görüntünün olduğundan daha ayrıntılıymış gibi görünmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2.9 Uyarlamalı algoritmalarda küçük ölçekli dokuların bozulması

#### 2.4.1. İstenmeyen etkilerin önlenmesi

Aşağıda, ara değerlendirme sırasında görüntü üzerinde oluşabilecek etkilerin engellenmesine ilişkin çözümlerden bahsedilecektir.



Şekil 2.10 Örtüşmeli ve örtüşme önlenmiş görüntü örneği

Örtüşme önlemek için, örtüşmüş veya sivri uçlu köşegen kenarların etkileri en aza indirilmelidir. Örtüşme önleyici, bir kenar komşu pikseller ile ne kadar örtüşeceğini hesaba katarak, sert kenarlarda daha yumuşak bir geçiş ve yüksek çözünürlük sağlar. Örtüşmüş bir kenar ara olmayan bir değere yuvarlanırken, örtüşme önlenmiş bir kenar her bir pikselin içine ne kadar gireceği ile orantılı bir değer alır. Şekil 2.10'da örtüşmeli ve örtüşme giderilmiş görüntü örnekleri verilmiştir.

Görüntüyü bir ara değerlendirme yöntemi ile büyütürken karşılaşılabilecek en büyük engel, görüntü üzerinde örtüşme etkisine sebep olmak veya şiddetlendirmektir. Çoğu uyarlamalı yöntem kenarları algılar ve bir yandan kenar keskinliğini korurken diğer yandan örtüşmeyi en aza indirmeye çalışır.

Bulanıklılık, görüntü üzerindeki yüksek frekans bileşenlerinin korunması veya yüksek geçiren bir filtre yardımı ile yeniden kazanılmaya çalışılması yardımı ile engellenebilir. Bulanıklılık etkisi en aza indirilmek istendiğinde görüntü üzerindeki kenarları koruyan uyarlamalı yöntemler daha uygun olabilir.

Kenar haneleri ise, görüntü keskinliğini arttırmak amacı ile uygulana yüksek geçiren filtrelerinin kesme frekanslarının daha küçültülmesiyle çözülebilir. Bu sayede daha fazla alçak frekans bileşenleri korunmuş olur.

## **2.5. Ara Değerleme Yöntemlerinin Gelişimi ve Kıyaslanması**

Görüntü aradeğerleme yöntemleri, bilgisayarlı grafik ve görüntü işleme kadar eskidir. Önceleri yeniden örneklemede en yakın komşuluk ve doğrusal ara değerlendirme gibi basit yöntemler kullanılmıştı. 1940'ların sonlarında Shannon tarafından haberleşme teorisinin tanıtılmasının bir sonucu olarak sinc (3) fonksiyonu ara değerlendirme için seçilmiş fonksiyon olarak kabul edilmiştir [20]. Ancak ideal sinc ara değerlendirme fonksiyonu sonsuz impuls cevabına sahiptir ve sonlu impuls cevaplı ara değerlendirme işlemlerine uygun değildir. Sinc fonksiyonunu ara değerlemede kullanabilmek amacıyla Taylor ve Lagrange polinomlarıyla yaklaşık olarak temsil edilmesi önerilmiştir [2][3]. Bunların yerine daha sonra sayısal hesaplama verimliliğinden dolayı çeşitli tiplerde spline fonksiyonları kullanılmıştır.

1970 ve 1980'li yıllar arasında literatürde birbirleri ile çelişen adlar ile anılan çok sayıda ara değerlendirme yöntemi bulunabilir. Kübik ara değerlendirme, süper çözünürlüklü spline ara değerlemesi, çift kübik spline ara değerlemesi olarak anılırken [5][6], B-spline bazen kübik spline olarak adlandırılmıştır [4]. 1983'de Parker, Kenyon ve Troxel ara değerlendirme yöntemlerinin kıyaslanması adında bir yayın hazırlamışlardır.

1988 yılında da Mealand benzeri bir çalışma sunmuştur. Bununla birlikte Hou ve Andrews [4], Keys'in [5] çalışmasında olduğu gibi, 2x2 ve 4x4 ara değerlendirme yöntemleri kıyaslanırken Fourier dönüşümünden faydalanmışlardır.

Parker, en yakın komşuluk, doğrusal ve B-spline ara değerlendirme yöntemlerine kıyasla, kübik ara değerlendirme kullanılarak, hesaplama süresindeki artış maliyeti ile birlikte yeniden üretilmiş görüntünün kalitesinin geliştirilebildiğine işaret etmiştir. Bununla birlikte, literatürde sıkça rastlanan kavram karmaşasından korunabilmek için, ileride açıklanacak nedenler ile B-spline tekniğine, B-spline ara değerlemesi yerine B-spline yaklaşıklığı olarak değinmek daha doğru olacaktır. Maeland, doğru (doğal) spline ara değerlemesini, B-spline ara değerlendirme olarak adlandırmış ve kübik ara değerlemeden daha üstün olduğu sonucuna varmıştır [6].

En son raporlarda daha sıklıkla rastlanmak ile birlikte, doğrusal ara değerlemenin donanımsal uygulaması, B-spline ara değerlendirme için hızlı algoritmalar veya özel geometrik dönüşümlerinden başka, doğrusal olmayan ve uyarlamalı, kenar iyileştirmeli yöntemler de sıkça yayınlanmıştır [17]. Geniş büyütme gerektiğinde, yumuşatma etkisi en rahatsız edici etki olarak görülmektedir. Ek olarak, biçim ve nesne temelli yöntemler, tıpta üç boyutlu veri kümelerinin dilim ara değerlemeleri için kullanılmak üzere yayınlanmıştır. 1996'da Appledorn örneklenmiş verinin ara değerlemesinde yeni bir yaklaşım sunmuştur [21]. Appledorn'nun ara değerlendirme fonksiyonları, Gauss fonksiyonlarının ve onun çift türevlerinin bir doğrusal toplamı olarak üretilmiştir. Maske büyüklüğü 8x8 olarak önerilmiştir. Öncekiler gibi, ara değerlendirme fonksiyonlarının iyileştirilmesinde Fourier analizinden faydalanılmıştır. Büyük fonksiyon boyutlarının ve karmaşık ara değerlendirme yöntemlerinin sebep olduğu yüksek miktarda hesaplama maliyetinin aksine, küçük bölgeler için, 1997 yılında Dodgson karesel polinomlu ara değerlendirme yöntemi önererek, kübik fonksiyonlarının hesaplama zamanını, karesel fonksiyonlar kullanarak ve hemen hemen benzeri kalite korunarak %60 oranında azaltmıştır [11].

Tablo 2.1 Üç ara değerlendirme yönteminden daha fazlasını kıyaslayan yayınlar

Yöntem	Yayınlar									
	[6]	[5]	[6]	[7]	[8]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]
Sınırlandırılmış	Ac							AC	AB	
Sinc										
Pencerelendirilmiş								ABC	ABc	
Sinc										
En Yakın	Ac	AB		AB			Ac	ABc	ABc	ABcCD
Komşuluk										
Doğrusal	Ac	ABc	AB	ABc	acC	ABc	ABc	ABC	ABc	aBcCD
Karesel							ABc			
Yaklaşıklık										
Karesel							ABc			
Ara Değerleme										
B-spline	ABc	A		AB		ABc	ABc		A	ad
Yaklaşıklık										
B-spline	abc		AB			ABcd			ac	aBcCD
Ara Değerleme										
Kubik 2x2			A		AcC			A		
Kubik 4x4		ABcd	AB	ABc	AcC		ABc	AC	ABc	aBcCD
Kubik 6x6		Ad								
Kubik 8x8					acC					
Lagrange								ABC		

Tablo 2.1, ara değerlendirme yöntemlerini kıyaslayan bundan önceki yöntemleri özetlemektedir. Tablo 2.1’de kullanılan kısaltmalarda, hangi yayında hangi özelliklerin üzerinde durulduğu özetlenmiştir. Tablo 2.1’de (a) harfi ile fonksiyon türetme, (A) harfi ile çizimlerinin de eklendiği, (b) harfi ile Fourier analizinin yapıldığı, (B) harfi ile analiz ile birlikte çizimlerinin de eklendiği, (c) harfi ile görüntü temelli öznel değerlendirme yapıldığı, (C) harfi ile nicel olarak ara değerlendirme hata değerlendirilmesi yapıldığı, (d) harfi ile karmaşıklık değerlendirilmesi ve (D) harfi ile çalışma zamanı ölçümleri yapıldığı kastedilmiştir.

Appedorn ve Dodgson’un en son önerilerine ek olarak, çoğu kıyaslama çalışmaları ne pencerelenmiş sinc tekniklerini ne de Lagrange metotlarını içerir. Aynı zamanda 6x6 ve 8x8 boyutunda geniş fonksiyonlu kübik ara değerlendirme yöntemini hariç tutmuşlardır. Oysa bu yöntemlerin bazı durumlarda iyi sonuçlar verebildiği gözlemlenmiştir.

Tıbbi tanıma uygulamalarında, fonksiyonun frekans özellikleri yanı sıra, yeniden örnekleme ve oluşturulmuş görüntünün kalitesi de dikkate alınmalıdır. Unutmamak gerekir ki pek çok görüntüleme sistemi, örnekleme teorisini ihlal ederek örtüşme etkisi ortaya çıkarırlar. Unser, Aldroubi ve Eden, bireylerin öznel değerlendirmelerinden faydalanmış, bireylerden büyütülmüş Lena test görüntülerinin kalitesini büyükten küçüğe doğru sıralayarak puanlamalarını istemişlerdir. Her ne kadar böyle bir değerlendirme kısmen görüntü ve görüntülerin geometrik dönüşümleri ile yakından ilişkili olsa da, görsel olarak değerlendirilmiş ara değerlendirme kalitesi, fonksiyon seçimi için önemli bulunmuştur [4][5][7][11][13][14]. Diğerleri, tekniklerinin ara değerlendirme kalitesini ölçebilmek için, ara değerlendirme uygulamadan önce ve sonra test görüntülerinin Fourier güç spektrumlarını çıkarmışlar ve kullanmışlardır. Alternatif olarak Schaum, çeşitli ara değerlendirme metotlarının performanslarının kıyaslanması için bir hata spektrumu önermiştir [12]. Tablo 2.1’de ara değerlendirme metotlarını karşılaştırmak için daha önceki yazarlar tarafından kullanılan özellikler özetlenmiştir.

Bununla birlikte, yapılacak işleme bağlı olarak verilen bir ara değerlendirme tekniğinin uygunluğunu ölçmede başka ölçütler kullanılabilir. Örneğin, görsel performans, benzerliğe veya keskinliğe göre sınıflandırılabilir [17]. Ayrıca sekizin çarpanlarını kullanarak büyütme [10] veya ikinin katları ile büyütme bazen özel uygulamalar için kritik olabilir ve bu oranlarda büyütme uygulanarak kıyaslamalar yapılabilir. Bu çalışmada da kıyaslamalar bu şekilde yapılmıştır.

Bu tezde, var literatürde mevcut ara değerlendirme yöntemleri geniş olarak araştırılmıştır. Bu amaçla standart terminoloji ile ifade edilmiş yerel analiz ve Fourier analizi, nitel ve nicel hata algılamaları, hesaplama karmaşıklığı değerlendirilmesi ve gerçekleştirme süresi hesaplamaları ile çeşitli algoritmalar kıyaslanmışlardır. Ayrıca testler sonucunda hız, ortalama performans/hız ve performans dallarında en iyi üç yöntem seçilmiştir.



## 2.6. Ara Değerleme Yöntemlerinin Temelleri

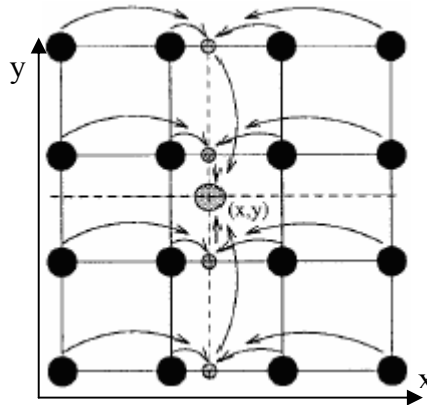
$N$  ve  $R$  sırası ile tam sayılar ve gerçekte sayılar kümesini belirtmek üzere, görüntü yeniden örnekleme için aradeğerleme ayırık zaman  $(s(k,l) \ k,l \in \mathbb{N})$  fonksiyonundan iki boyutlu ve sürekli  $s(x,y) \ x,y \in R$  işaretini elde etmelidir. Bu yüzden sürekli fonksiyonun herhangi bir  $(x,y)$  noktasındaki değeri, ayırık fonksiyondaki komşularından tahmin edilmelidir. Bu işlem, ayırık görüntü örneklerinin iki boyutlu yeniden oluşturma filtresinin sürekli impuls cevabı  $h(x,y)$  ile konvolüsyon toplamı olarak tanımlanabilir.

$$s(x,y) = \sum_k \sum_l s(k,l) *_{2D} h(x-k, y-l) \quad (1)$$

Genel olarak simetrik ve ayrıştırılabilir aradeğerleme fonksiyonu kullanmak hesaplama karışıklığını azaltır.

$$h(x,y) = h(x) \cdot h(y) \quad (2)$$

Şekil 2.11'de  $(x,y)$  noktasındaki  $4 \times 4$  komşuluklu ara değerlendirme gösterilmiştir. Ara değerlendirme ilk olarak  $x$  yönünde uygulanmıştır. Şekil 2.11'deki küçük dört gri ara değer noktaları bu yöndeki bir boyutlu ara değerlendirme sırasında üretilmiştir. Bu noktalar  $y$  yönündeki bir boyutlu son ara değerlendirme sırasında kullanılmıştır.



Şekil 2.11  $(x,y)$  noktasındaki  $4 \times 4$  iki boyutlu ara değerlendirme

## 2.7. İdeal Ara Değerleme

Örnekleme teorisine göre, sürekli  $s(x, y)$  görüntüsünü örnekleme, Nyquist kriterleri sağlandığı müddetçe Fourier uzayında birbirleri ile örtüşmeyen sonsuz sayıda sürekli  $S(u, v)$  spektrumları oluşturur. Bu sayede orijinal  $s(x, y)$  görüntüsü,  $s(k, l)$ 'nin Fourier dönüşümünde uygun bir alçak geçiren filtre ile filtrelenmesi ile tam olarak geri elde edilebilir. Bir boyutlu ara değerlendirme, Fourier uzayında örneklerin dikdörtgen bir fonksiyon ile çarpımına eşittir ve zaman uzayında denklem (3)'de verilen sinc fonksiyonu ile konvolüsyon yapılarak gerçekleştirilebilir.

$${}^{ideal}h(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x} = \text{sinc}(x), \quad -\infty < x < \infty \quad (3)$$

Şekil 2.12a, ideal ara değerlendirme fonksiyonu  ${}^{ideal}h(x)$ 'i göstermektedir. Çizim  $-3 < x < 3$  aralığında sınırlı tutulmuştur. Sonsuz fonksiyonun impuls cevaplı ideal Fourier dönüşümünün genliği  $|{}^{ideal}h(x)|$   $-4\pi \leq \omega = 2\pi f \leq 4\pi$  aralığında çizilmiş ve Şekil 2.12b'de gösterilmiştir.  $-\pi \leq \omega < \pi$  aralığı “geçirme bandı” ve  $f = 1/2$  veya  $\omega = \pi$  frekansı ise “Nyquist frekansı” olarak tanımlanır. İdeal ara değerlemenin transfer fonksiyonu sabittir ve alçak geçiren bir filtre gibi davranır. Buna ek olarak filtrenin Fourier cevabının logaritmik çizimi, söndürme bantlarındaki ( $|\omega| > \pi$ ) etkiyi daha iyi vurgulayabilmek için şekil 2.12c'de gösterilmiştir. İdeal transfer fonksiyonu, söndürme bantlarında sıfır kazanca sahiptir. Herhangi bir ara değerlendirme yöntemi için gerekli olan bazı temel özellikler ideal ara değerlendirme yönteminden türetilir.  ${}^{ideal}h(x)$ , Şekil 2.12a'dan görüldüğü gibi sıfır – bir aralığında pozitif, bir – iki aralığında negatif, iki – üç aralığında yeniden pozitiftir ve bu şekilde devam eder.  $h(0) \equiv 1$  için, görüntü aynı ızgarada yeniden örneklendirilirse değiştirilme olmayacağı garanti edilmiş olur. Bu nedenle denklem (4)'de verilen şartları sağlandığı fonksiyonlar

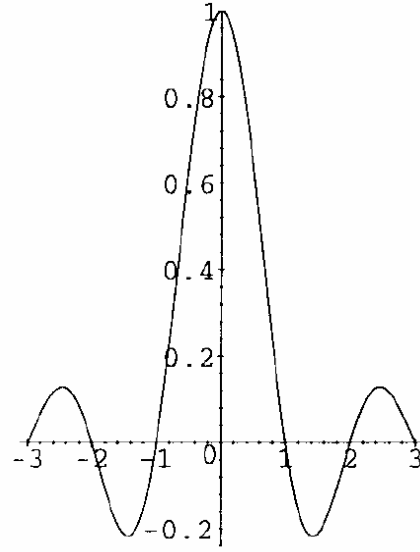
$$\begin{cases} h(0) \equiv 1 \\ h(x) \equiv 0, |x| = 1, 2, \dots \end{cases} \quad (4)$$

yumuşatma etkisini önler ve yüksek frekans bileşenlerini korur. Tezde bu tip fonksiyonlara “ara değerlendirme fonksiyonları” adı verilmiştir ve daha uygun fonksiyonların bu koşullara uydukları gözlemlenmiştir. Ara değerlendirme fonksiyonlarının aksine, (4)’de verilen yaklaşıma uymayan fonksiyonlar da vardır. Tezde bu fonksiyonlardan “ara değerlendirme yaklaşıklıkları” olarak bahsedilmesi uygun görülmüştür. Ancak bu tanımlamalar genel kabul görmüş keskin ayrımlar değildir.

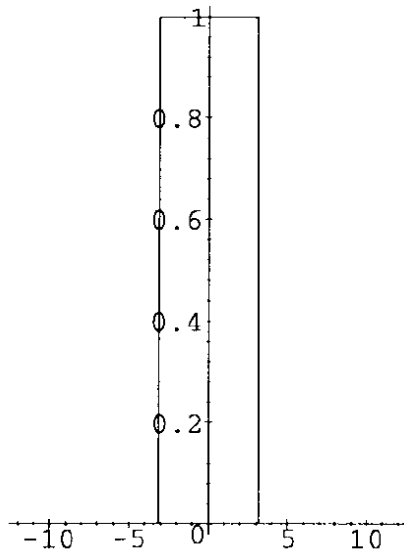
Ara değerlendirilmiş sürekli görüntüyü örneklemek, örneklenmiş ara değerlendirme fonksiyonunu kullanarak ara değerlendirilmiş ayrık görüntü oluşturmaya eşdeğerdir. Ancak ara değerlendirme fonksiyonunu örneklemek, ara değerlendirme fonksiyonunun yüksek frekans bileşenleri ile alçak frekans bileşenlerini örtüştürür. Sadece ideal ara değerlendirme durumunda yüksek frekans bileşenleri olmaz ve bu nedenle  $-0.5 < f < 0.5$  aralığında örneklenmiş ara değerlendirme fonksiyonları ile örneklenmemiş olanı aynı Fourier spektrum dağılımına sahiptir. Ancak sadece sürekli ara değerlendirme fonksiyonu  $h(x)$  değil, genel olarak örneklenmiş ara değerlendirme fonksiyonu  $h(k)$  da dikkatle gözden geçirilmelidir. Özellikle tüm örneklerin toplamı,  $0 \leq d < 1$  aralığındaki herhangi bir uzaklık için 1 olmalıdır;

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} h(d+k) \equiv 1 \quad (5)$$

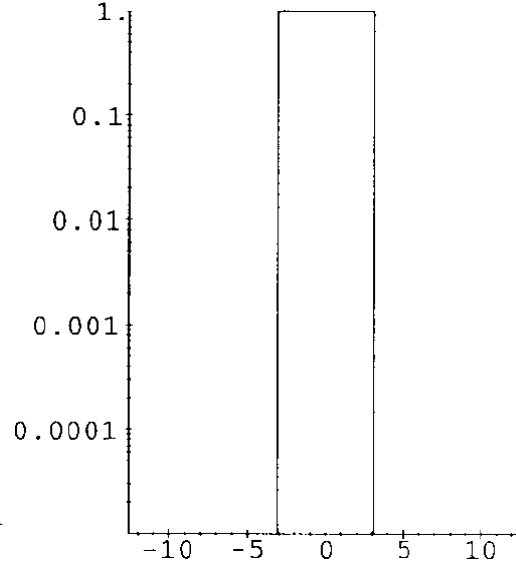
Bunun anlamı,  $d$ ’deki herhangi bir değişim için, doğru akım (DC) kuvvetlendirmesi uyumlu olacak ve yeniden örneklenmiş görüntüdeki enerji korunacaktır [20]. Başka bir deyiş ile, görüntünün ortalama parlaklığı, görüntü ara değerlendirme ve yeniden örnekleme işleminden sonra değişmeyecektir. Bu nedenle fonksiyonlar, bu özelliği karşılayıp karşılayamamalarına göre sırası ile “doğru akım kararlı” veya “doğru akım kararsız” olarak isimlendirilebilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.12a  $|x| < 3$  için ideal Ara Değerleme fonksiyonu

b İdeal Ara Değerleme Fourier Dönüşümünün Genliği

c İdeal Ara Değerleme Genliğinin Logaritmik Çizimi

## BÖLÜM 3. UYARLAMALI OLMAYAN METODLAR

### 3.1. Sinc Ara Değerleme Yöntemi

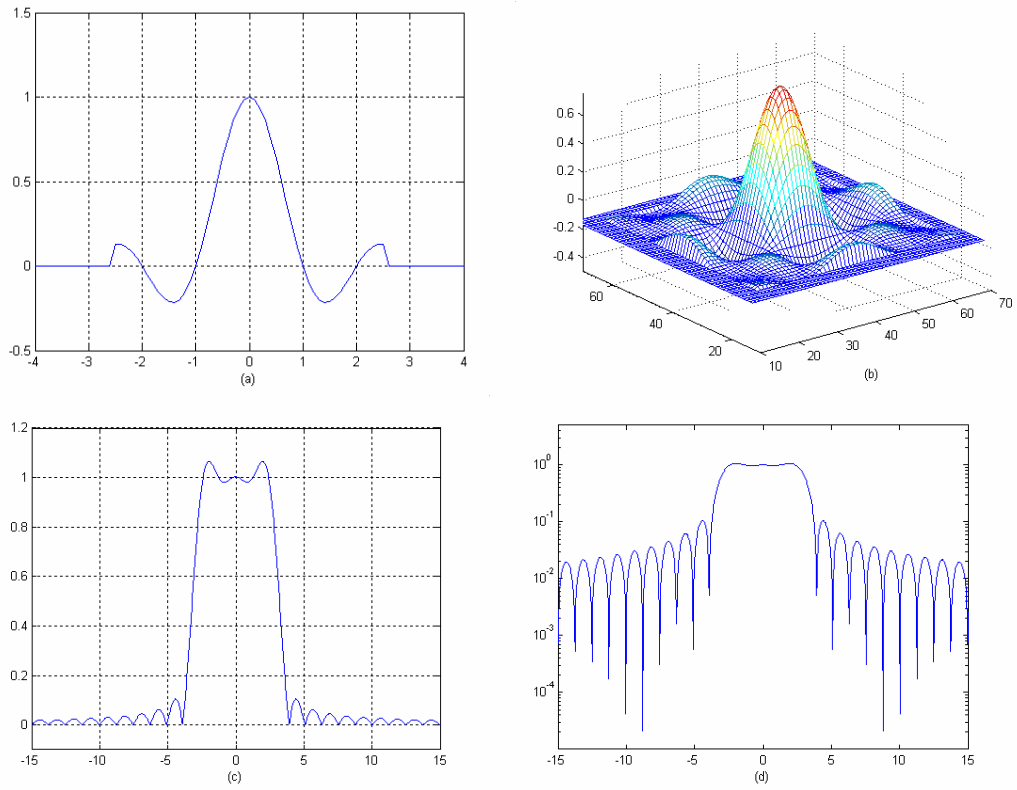
Her ne kadar sinc fonksiyonu  $s(x, y)$  'nin tam olarak yeniden oluşturulmasını sağlasa da, zaman uzayında sonsuz uzunluktadır. Bu dezavantajın üstesinden gelebilmek için sınırlandırma  $w(x) = \text{const}(x) = 1$  veya bir pencere fonksiyonu  $w(x) \neq \text{const}(x)$  ile pencereleme yapılması yöntemleri genel kabul görmüştür.

$$\text{sinc}^c h_N(x) = \begin{cases} \text{ideal} h(x) \cdot w(x), & 0 \leq |\pi| < N/2 \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (6)$$

Denklem (6)'da  $N$  sonlu fonksiyon  $\text{sinc}^c h_N(x)$  'in tanımlı olduğu nokta sayısıdır. Tanımından dolayı  $\text{sinc}^c h_N(x)$ , (5) denklemindeki şartları sağlamaktadır. Başka bir deyiş ile, pencerelenmiş veya sınırlandırılmış tüm sinc fonksiyonları geçerli ara değerlendirme fonksiyonlarıdır.

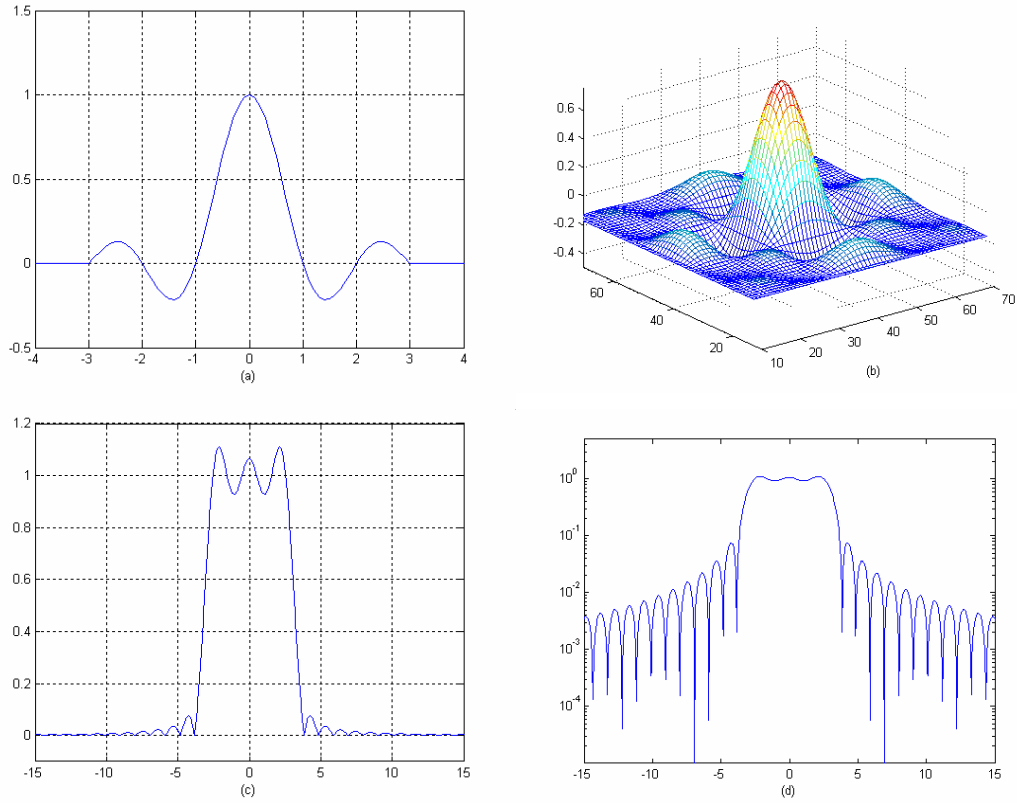
Sınırlandırma,  $\text{ideal} h(x)$  'i zaman uzayında bir dikdörtgen fonksiyon ile çarpma ile eşdeğerdir. Bu frekans uzayında  $\text{ideal} h(x)$  'in Fourier dönüşümü ile sinc fonksiyonu konvolüsyonuna karşı gelmektedir. Bu nedenle, ideal ara değerlendirme fonksiyonunu sınırlamak, önemli miktarda enerji atıldığı için frekans uzayında istenmeyen etkileri oluşturur. Sırası ile  $N=5$  ve  $N=6$  için sınırlandırılmış sinc fonksiyonu ile üretilen Şekil 3.1 ve Şekil 3.2, Gibbs etkisi [4] olarak da adlandırılan olayı göstermektedir. Ek olarak  $N < \infty$  olan her hangi bir durumda denklem (5)'deki şartı ihlal edilmektedir. Yani sınırlandırılmış tüm sinc fonksiyonları doğru akım kararsızdır. Bu etki, tek uzunluğa sahip fonksiyonlara göre çift uzunluğa sahip fonksiyonlarda daha fazla artar. Bu yüzden fonksiyon büyüklüğünü  $N=5$ 'den  $N=6$ 'ya yükseltmek, geçirme bandı içerisindeki kayıpları önemli oranda büyültür.

Bu nedenden ötürü, sınırlandırılmış fonksiyonun geçirme bandı özellikleri ile ilgili olarak, tanımlı olduğu noktalar sayısının tek sayı olması tercih edilmelidir.



Şekil 3.1 Sınırlandırılmış sinc ara değerlendirme fonksiyonu ( $N = 5$ )

- a Sınırlandırılmış fonksiyon
- b 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu
- c Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu
- d Genlik spektrumunun logaritmik gösterimi



Şekil 3.2 Sınırlandırılmış sinc ara değerlendirme fonksiyonu(  $N = 6$  )

- a Sınırlandırılmış fonksiyon
- b 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu
- c Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu
- d Genlik spektrumunun logaritmik gösterimi

Sinc fonksiyonunu uzaysal konvolüsyona elverişli hale getirmek için diğer bir fikir ise  $w(x)$  fonksiyonu için dikdörtgen fonksiyonundan daha yumuşak geçişli bir fonksiyon kullanmaktır. Schaum; ara değerlendirme fonksiyonunun kenarlarını yumuşatmak ve Gibbs etkisini kaldırmak için yükseltilmiş kosinüs fonksiyonu olan Hanning penceresini kullanır [12]. Wolberg, pencereleştirilmiş sinc fonksiyonları için kullanılan bazı pencere fonksiyonlarını Fourier analizi kullanarak kıyaslamıştır [13]. Harmonik analiz için ayrık Fourier dönüşümü yardımı ile pencere kullanımında sistematik bir yaklaşım getiren Harris, Kaiser-Bessel ve Blackman-Harris pencerelerinin en iyi performansı verdiğini açıklamıştır [15]. Denklem (7)'de verilen 3 terimli Blackman-Harris penceresini kullanırken

$$w(x) = w_0 + w_1 \cos\left(2\pi \frac{2x}{N}\right) + w_2 \cos\left(2\pi \frac{4x}{N}\right) \quad (7)$$

$N = 6$  için

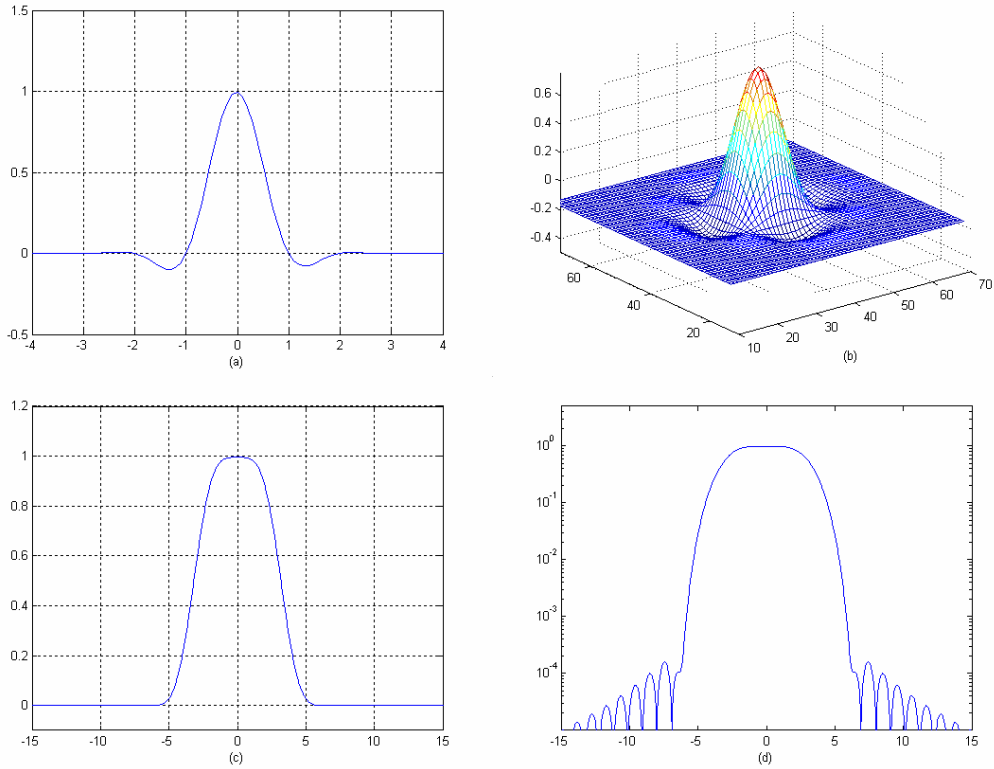
$$w_0 = 0.42323$$

$$w_1 = 0.49755$$

$$w_2 = 0.07922$$

alınırsa doğru akım kararlı bir fonksiyon elde edilir. Değerler, [12] ve [13]'de verilen sonuçlar da dahil kullanılan çoğu pencereleme fonksiyonlarına göre daha iyi sonuç vermişlerdir.

Şekil 3.3'de Blackman-Harris penceresi kullanılarak sınırlandırılmış sinc fonksiyonu gösterilmiştir. Fonksiyonun  $2 \leq |x| < 3$  aralığı, dikdörtgen pencere kullanılarak sınırlandırılmış sinc fonksiyonuna göre önemli ölçüde bastırılmıştır. Bu yüzden söndürme bandındaki dalgalanmalar %0.01'in altındadır ancak geçirme bandı içerisindeki yüksek frekanslar da zayıflatılmıştır.



Şekil 3.3 Blackman-Harris pencereleştirilmiş sinc ara değerlendirme fonksiyonu ( $N = 6$ )

- a Sınırlandırılmış fonksiyon
- b 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu
- c Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu
- d Genlik spektrumunun logaritmik gösterimi

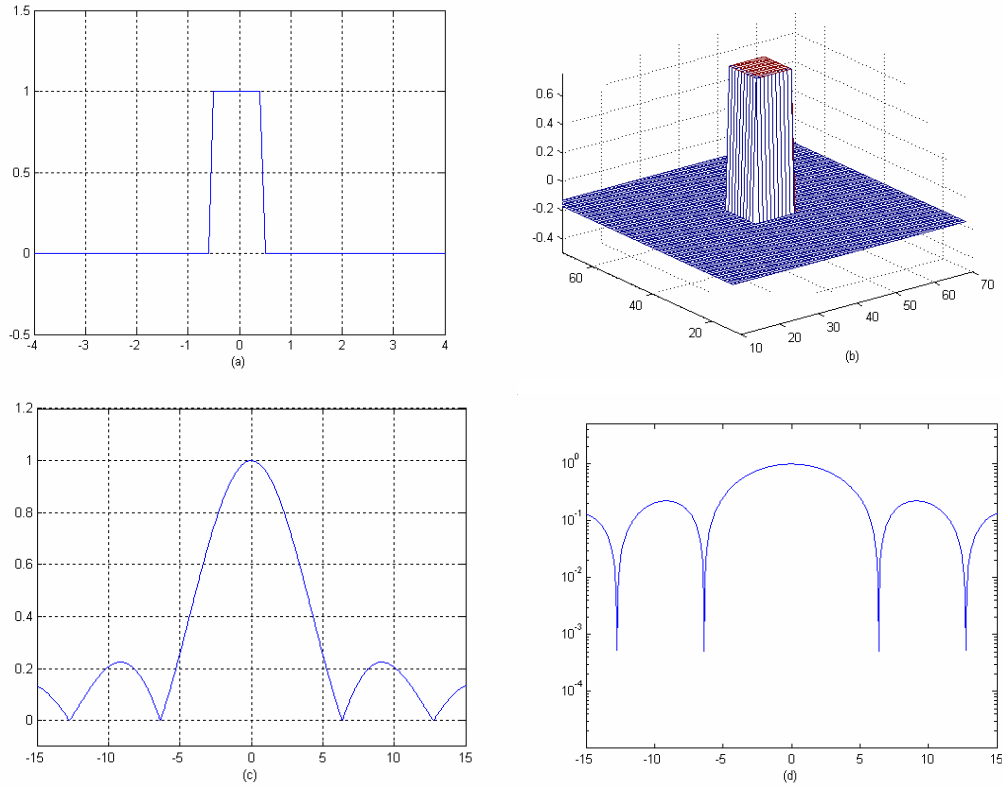


### 3.2. En Yakın Komşuluk Ara Değerleme Yöntemi

Uzamsal sınırlı bir fonksiyonu, sinc fonksiyonuna yaklaşılaştırmanın en kolay yolu en yakın komşuluk yöntemidir.  $x$  konumundaki  $s(x)$  değeri bir sonraki bilinen  $s(k)$  değeri olarak seçilmiştir. Bu nedenle en yakın komşuluk ara değerlendirme fonksiyonu dikdörtgen pencere kullanılarak sınırlandırılmış sinc fonksiyonunda  $N=1$  durumuna karşı gelmektedir. Diğer bir deyiş ile, durumuma karşı gelen ara değerlendirme fonksiyonu  $h_1(x)$  ile gösterilir.

$$h_1(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq |x| < 0.5 \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (8)$$

$h_1(x)$  doğru akım kararlı bir fonksiyon olduğu kolayca gösterilebilir. Şekil 3.4c, en yakın komşuluk fonksiyonunun Fourier spektrumunun frekans uzayı sinc fonksiyonuna eş olduğunu göstermektedir. Logaritmik ölçek çizimi frekans uzayında önemli kenar loblarının oluştuğunu göstermektedir. Geçirme bandı bitim noktasında kazancın hızlıca %64'e düştüğü görülmektedir. Ayrıca kenarlardaki genlik %20'den fazladır. Bu yüzden güçlü örtüşme ve bulanıklılık etkilerinin en yakın komşuluk yöntemi ile ortaya çıktığı görülmektedir.



Şekil 3.4 En yakın komşuluk ara değerlendirme fonksiyonu  
 a Sınırlandırılmış fonksiyon  
 b 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu  
 c Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu  
 d Genlik spektrumunun logaritmik gösterimi

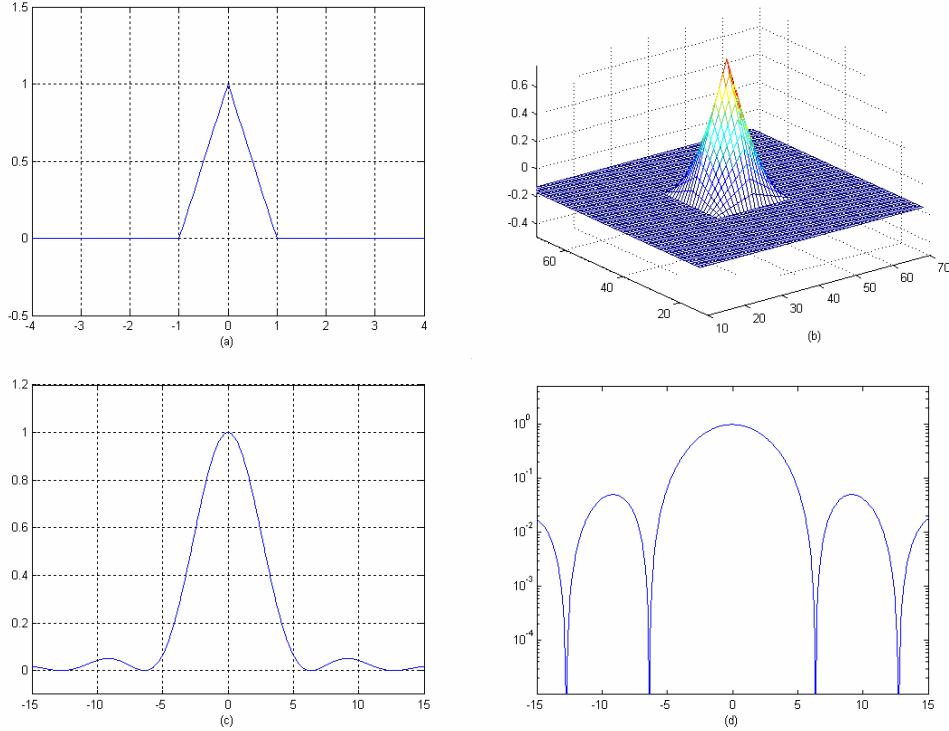
### 3.3. Doğrusal Ara Değerleme Yöntemi

Doğrusal ara değerlemede, en yakın komşuluktaki her iki piksel değeri de uzaklığı ile ters orantılı olarak hesaplamaya katılırlar. Bu yüzden doğrusal ara değerlendirme bir üçgen fonksiyonu ile sinc fonksiyonuna yaklaşmaya çalışır:

$$h_2(x) = \begin{cases} 1 - |x|, & 0 \leq |x| < 1 \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (9)$$

Üçgen fonksiyonu  $h_2(x)$  frekans uzayında ( $H_2(f)$ ) alçak geçiren filtre davranışı gösterir [Şekil 3.5].  $h_2(0) = 1, h_2(\pm 1, 2, \dots) = 0, H_2(0) = 1, H_2(\pm 1, 2, \dots) \approx 0$  'dır. Bu yüzden fonksiyon doğru akım kararlıdır. Söndürme bandındaki kenar lobları %10'un altındadır, ancak bu halen yüksek bir değerdir. Bu yüzden doğrusal ara değerlemenin

en önemli dezavantajı yüksek frekans bileşenlerinin zayıflaması ve kesme frekansı dışındaki alçak frekans bileşenlerinde örtüşme oluşturmaktadır.



Şekil 3.5 Doğrusal ara değerlendirme fonksiyonu  
 a Sınırlandırılmış fonksiyon  
 b 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu  
 c Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu  
 d Genlik spektrumunun logaritmik gösterimi

### 3.4. Karesel Ara Değerleme Yaklaşıklığı

Sinc'e benzer ara değerlendirme fonksiyonlarını oluştururken en sıklıkla uygulanan yaklaşımlardan biri cebirsel çokterimliler kullanmaktır. Cebirsel çokterimliler, kolay belirlenebilirler ve sonlu aralıklarda sürekli fonksiyonların düzgün şekilde yaklaşık olarak temsil edebilirler. Önceki kısımlarda sabit ve doğrusal çokterimliler tartışılmıştı. Karesel fonksiyonlar, faz bozulmalarını ortaya çıkardıkları düşünüldüğünden ihmal edilmiştir. Gerçekten eğer çokterimli -1'den 2'ye yayılıyor ise doğrusal faza sahip olmayan asimetrik fonksiyonlar üretilir [1]. Bununla birlikte, Dodgson bunun genel bir durum olmadığını göstermiş ve son zamanlarda daha iyi huylu bir karesel fonksiyon ailesi üretilmiştir [11]. Diğer çokterimli ara değerlendirme fonksiyonlarının tersine, bu karesel fonksiyon ailesi kendisine simetrik

(-3/2'den 3/2'ye) 3x3 komşuluğu temel almıştır ve temas noktaları kesirlidir. Ayrık fonksiyonlar açısından, ara değerlendirme için en yakın 3 nokta kullanılmaktadır, bu noktalar iki doğrudan komşu veya sağ taraftaki veya sol taraftaki noktadır. Simetrik karesel fonksiyon aşağıda verilmiştir.

$${}^{quad}h_3(x) = \begin{cases} + A_1|x|^2 + B_1|x| + C_1, 0 \leq |x| < 1/2 \\ + A_2|x|^2 + B_2|x| + C_2, 1/2 \leq |x| < 3/2 \\ 0, \text{ aksi halde} \end{cases}$$

Formülde  $A_i, B_i, C_i \in R$  ve denklem (12)'de verilen C1-sürekliliğinden dolayı  $B_1 = 0$  'dır. Ara değerlemede uygun bir fonksiyon üretebilmek için ek olarak bazı kısıtlamalar gerekmektedir. Çokterimli, başlangıç ve bitiş noktalarında ayrıca temas etme noktalarında da tam olarak eksene oturmalıdır. Ek olarak denklem (5)'deki koşul da doğru akım kararlı bir fonksiyon için sağlanmalıdır. Bundan dolayı aşağıdaki dört eşitlik kalan beş parametre için uygun değerleri saptamak için gereklidir.

$$\begin{aligned} {}^{quad}h_3\left(\frac{1^-}{2}\right) &= {}^{quad}h_3\left(\frac{1^+}{2}\right) \Rightarrow \frac{A_1}{4} + \frac{B_1}{2} + C_1 \\ &= \frac{A_2}{4} + \frac{B_2}{2} + C_2 \end{aligned}$$

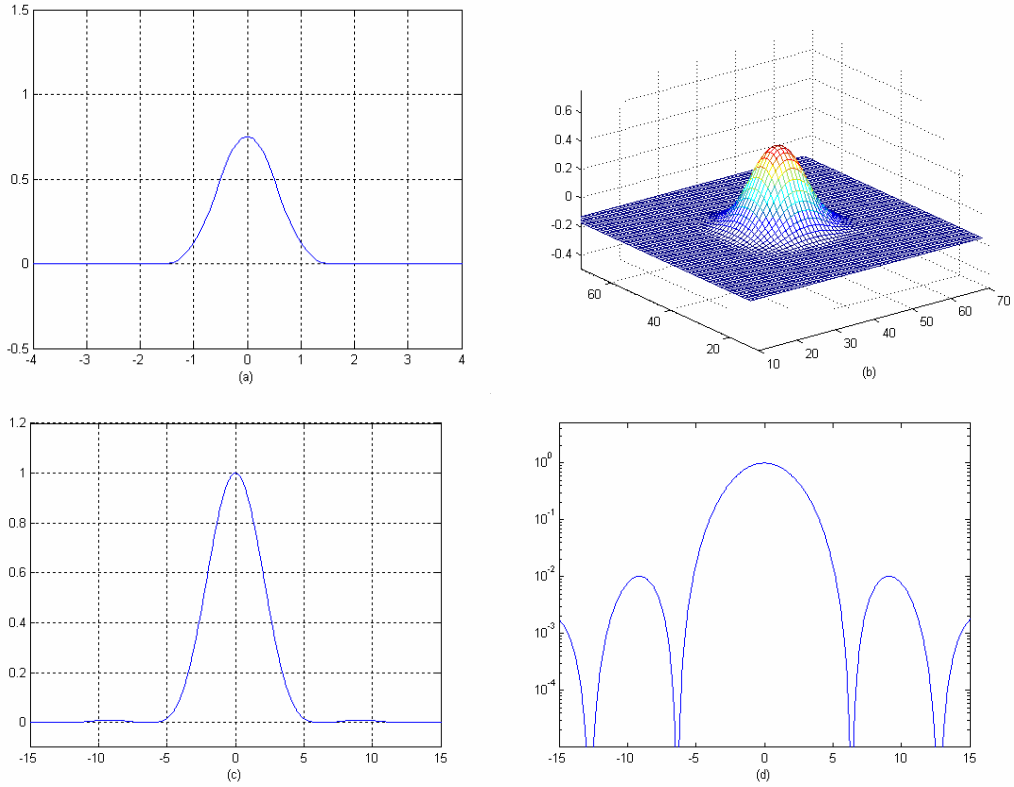
$${}^{quad}h_3\left(\frac{3}{2}\right) = 0 \Rightarrow \frac{9A_2}{4} + \frac{3B_2}{2} + C_2 = 0$$

$$\sum {}^{quad}h_3(d+k) \equiv 1 \Rightarrow \begin{cases} 2A_2 + A_1 = 0 \\ 2A_2 + 2B_2 + 2C_2 + C_1 = 1 \end{cases}$$

Bu kısıtlamalardan sonra karesel ara değerlendirme fonksiyonu  ${}^{quad}h_3$  sadece bir parametreye bağlı olur.  $a \in R$  olmak üzere:

$${}^{quad}h_3(x) = \begin{cases} -2a|x|^2 + 1/2(a+1), & 0 \leq |x| < 1/2 \\ +a|x|^2 - (2a+1/2)|x| + 3/4(a+1), & 1/2 \leq |x| < 3/2 \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (10)$$

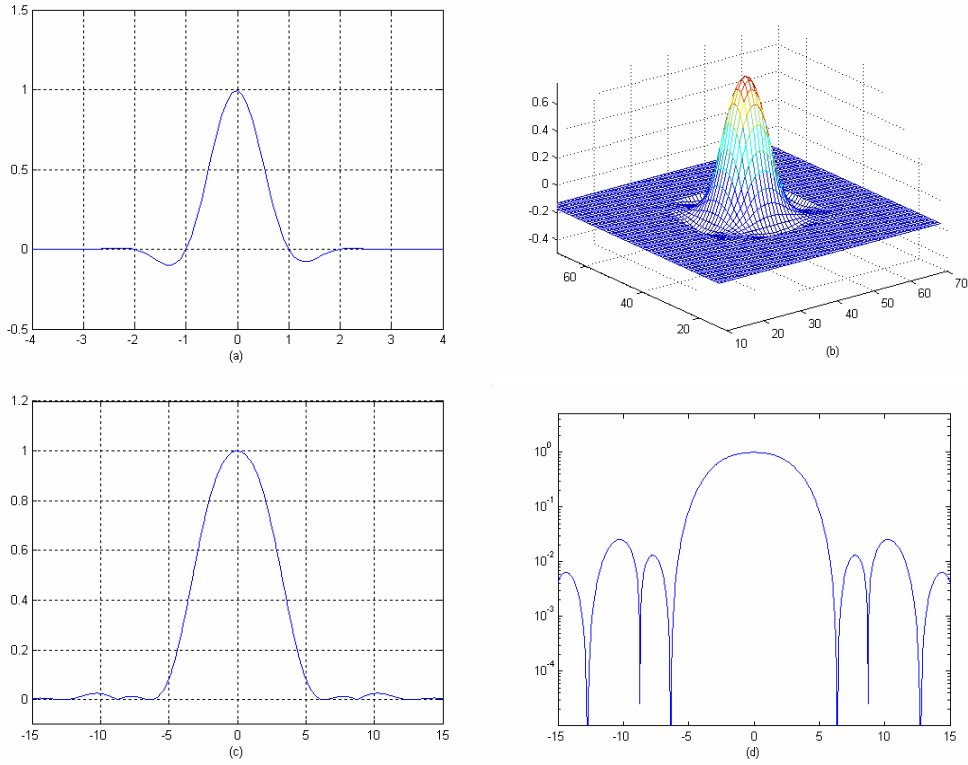
Dikkat edilmesi gereken nokta, karesel bir parametrelili ailenin tüm fonksiyonları gerçek değerli ve çift fonksiyonlardır. Bu yüzden doğrusal bir faza sahiptirler. Sonuncu serbestlik derecesini kaldırmak için, çok terimlinin ilk türevlerini bağlantı noktalarına ( $|x|=1/2$ ) uydurmaya zorlanabilir. Bu da  $a=1/2$  olması anlamına gelmektedir.  $a=1/2$  olması durumunda fonksiyonun denklem (5)'deki şartı sağlamadığı görülür [Şekil 3.6]. Bu yüzden  $a=1/2$  durumundaki karesel fonksiyona karesel yaklaşıklık denmektedir. Tanımdan dolayı karesel yaklaşıklık doğru akım kararlıdır. Fourier uzayında yaklaşık %1'lik önemli bir kenar lobuna sahiptir. Ana lob ideal dikdörtgen şeklinden oldukça sapmıştır. Yüksek frekanslar geçirme bandı içerisinde zayıflatılmışlardır. Bu yüzden karesel yaklaşıklık ile yapılan ara değerlemelerde yoğun bir biçimde bulanıklık etkisi görülür.



Şekil 3.6 Karesel ara değerleme yaklaşıklığı  
 a Sınırlandırılmış fonksiyon  
 b 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu  
 c Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu  
 d Genlik spektrumunun logaritmik gösterimi

### 3.5. Karesel Ara Değerleme Yöntemi

Karesel fonksiyonu, denklem (4)'de verilen sıfır geçiş koşulunu yerine getirmeye zorlamak için tek serbestlik derecesine sahip denklem (10)'daki eşitlik kullanılabilir. Bu durumda  $a=1$  elde edilir ve sonlu fonksiyon doğru akım kararlı olur. Dikkat edilmesi gereken nokta, denklem (5)'deki koşul ile C1-sürekliliği koşulu aynı anda sağlanamaz. C1-süreksizliği fonksiyonun söndürme bandı zayıflatmasını yüksek frekanslar için %2'den fazla yükseltmiştir [Şekil 3.7d]. Ancak karesel ara değerleme yöntemi kabul edilebilir geçirme bandı özellikleri göstermektedir [Şekil 3.7c].



Şekil 3.7 Karesel ara değerleme fonksiyonu  
 a Sınırlandırılmış fonksiyon  
 b 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu  
 c Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu  
 d Genlik spektrumunun logaritmik gösterimi

### 3.6. B-Spline Ara Değerleme Yaklaşıklığı

Temel spline (B-Spline), spline fonksiyon ailesinin en çok kullanılanlarından biridir. Birkaç adet kendini katlama ile türetilbildiğinden temel fonksiyonlar olarak anılmaktadır. Gerçekten de denklem (9)'da verilen doğrusal ara değerleme fonksiyonu  $h_2(x)$ 'in, denklem (8)'de verilen dikdörtgen en yakın komşuluk fonksiyonu  $h_1(x)$ 'in kendi ile kovolüsyonu ile oluşması ilgi çekicidir.

$$h_2(x) = h_1(x) * h_1(x)$$

Bu yüzden, dikdörtgen fonksiyonu  $h_1(x)$ , kendisi ile N-1 kez konvolüsyonu sonucu düzenli N. dereceden B-spline  $h_N(x)$  fonksiyonu elde edilir.

$$h_n(x) = \underbrace{h_1(x) * h_1(x) * \dots * h_1(x)}_{N-1 \text{ ker } e}$$

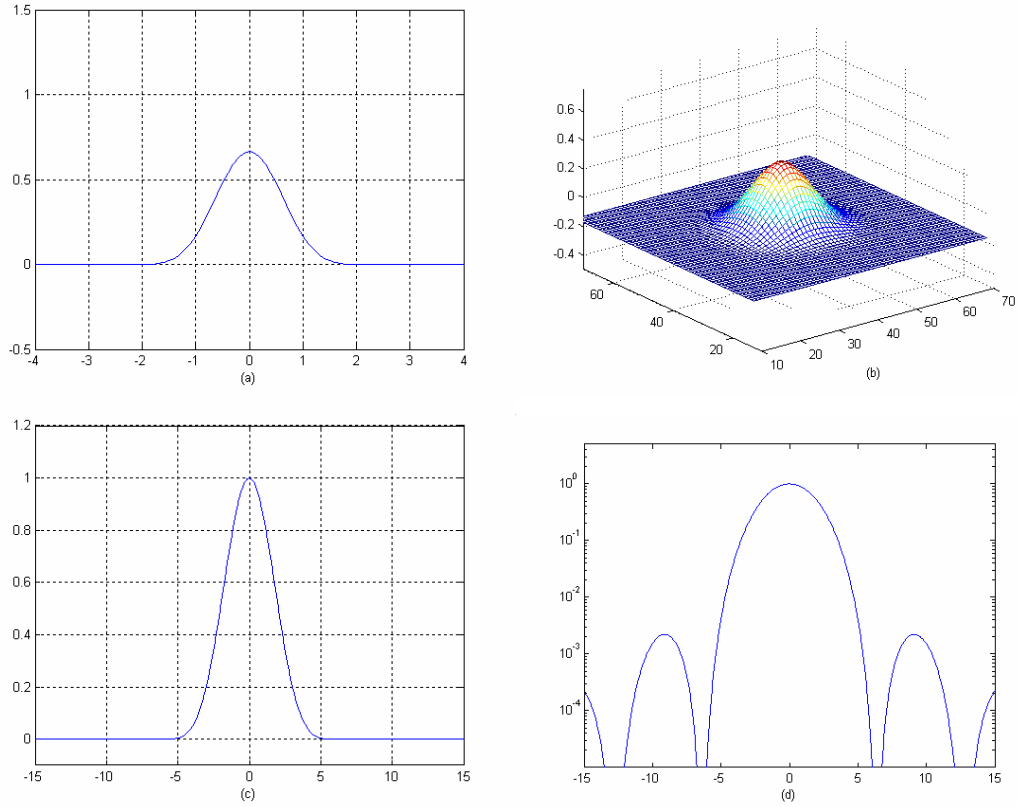
$N \Rightarrow \infty$  için bu işlem bir Gauss fonksiyonu  $h_\infty(x)$  'e yakınsanır.  $N = 3$  için karesel B-spline  $h_3(x)$  elde edilir, gerçekte bu daha önceden bahsedilen karesel ara değerlendirme yaklaşıklığı  $^{quad}h_3(x)$  'in  $a = 1/2$  olanına eşittir.  $N = 4$  için kübik B-spline elde edilir (14).

$$h_4(x) = \begin{cases} 1/2|x|^3 - |x|^2 + 2/3, & 0 \leq |x| < 1 \\ -1/6|x|^3 + |x|^2 - 2|x| + 4/3, & 1 \leq |x| \leq 2 \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (11)$$

B-spline fonksiyonu  $h_4(x)$  sinc fonksiyonunun sıfır geçiş noktalarında sıfır değildir. ( $h_4(-1) = h_4(1) = 1/6$ ) ve bu yüzden B-spline fonksiyonu ara değerlendirme yaklaşıklığı olarak adlandırılmalıdır. Bunun bir sonucu olarak yöntem kuvvetli bulanıklık etkileri gösterir ama aynı zamanda çıkış görüntüsünde istenmeyen yüksek frekans gürültülerinin zayıflamasını sağlar.

Ancak B-spline yaklaşıklığı doğru akım yükseltme özelliklerinin tutulması açısından değerli bir kapasiteye sahiptir [Şekil 3.8d]. Üstelik, Şekil 3.8 kübik B-spline fonksiyonun oldukça iyi söndürme bandı cevabı olduğunu gösterir. Kenar loblarındaki genlik %1'den azdır. Yine de kübik B-spline fonksiyonu geçirme bandında aşırı bir yumuşatma etkisine sahiptir. Kesim frekansındaki kazanç sadece %16.4 civarındadır. Spline'ın derecesini ( $N$ ) arttırmak sadece ara değerlemenin kalitesini arttırmakla kalmaz, aynı zamanda yumuşatma etkisini de artırır. Bu yüzden B-spline yaklaşıklık metodunu temsil etmesi açısından  $h_4(x)$  fonksiyonu tercih edilmiştir. Bu seçim diğer yazarlar tarafından da benimsenmiştir [4,5,7,11].





Şekil 3.8 B-spline ara değerlendirme yaklaşıklığı ( $N=4$ )  
a Sınırlandırılmış fonksiyon  
b 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu  
c Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu  
d Genlik spektrumunun logaritmik gösterimi

### 3.7. Kübik Ara Değerleme Yöntemi

Denklem (12)'de verilen C2-sürekliliğine uyum yeteneklerinden dolayı kübik çok terimlileri sık olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda B-spline yaklaşıklığı  $h_4(x)$  (14) ve Lagrange ara değerlendirme yöntemi  $^{lagra}h_4(x)$  (16) parça parça kübik çok terimlilerinden türetilmişlerdi..

#### 3.7.1 Kübik 2 noktalı ara değerlendirme

Kübik ara değerlemenin iki noktalı olması durumunda ( $A, B, C, D \in R$ )

$$^{cubic}h_2(x) = \begin{cases} A|x|^3 + B|x|^2 + C|x| + D, & 0 \leq |x| < 1 \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Yukarıdaki ifade de belirtilen  $A, B, C, D$  parametreleri aşağıda verilen sınır değerleri uygulanarak belirlenebilir.

- $h_4(k^-) = h_4(k^+)$ , C0 sürekliliği
- $h_4'(k^-) = h_4'(k^+)$ , C1 sürekliliği (12)
- $h_4(0) = 1$ ,  $k = 0$  için (5)
- $h_4(1) = 0$ ,  $k \neq 0$  için (5)

$N = 2$  ve dört parametre için, sınır değerler dört eşitlik sunar, bu eşitliklerin sonucunda:

$${}^{cubic}h_2(x) = \begin{cases} 2|x|^3 - 3|x|^2 + 1, & 0 \leq |x| < 1 \\ 0, & \text{baska her yerde} \end{cases} \quad (13)$$

Belirtilmelidir ki,  ${}^{cubic}h_2(x)$  doğru akım kararlı bir ara değerlendirme yöntemidir. Sonuç eğrileri doğrusal ara değerlemede elde edilene benzerdir ama zaman uzayında parçalar C1-sürekliliğine uyarlar. Fourier uzayında iki kenar lobu oluşur, ilk lob  $1 \leq |f| < 1,5$  aralığındadır ve genliği %2'ye değin yükselir, ikinci lob ise  $1,5 < |f| < 2$  aralığındadır ve genliği %1'e kadar yükselir.

### 3.7.2 Kübik 6 ve 8 noktalı ara değerlendirme

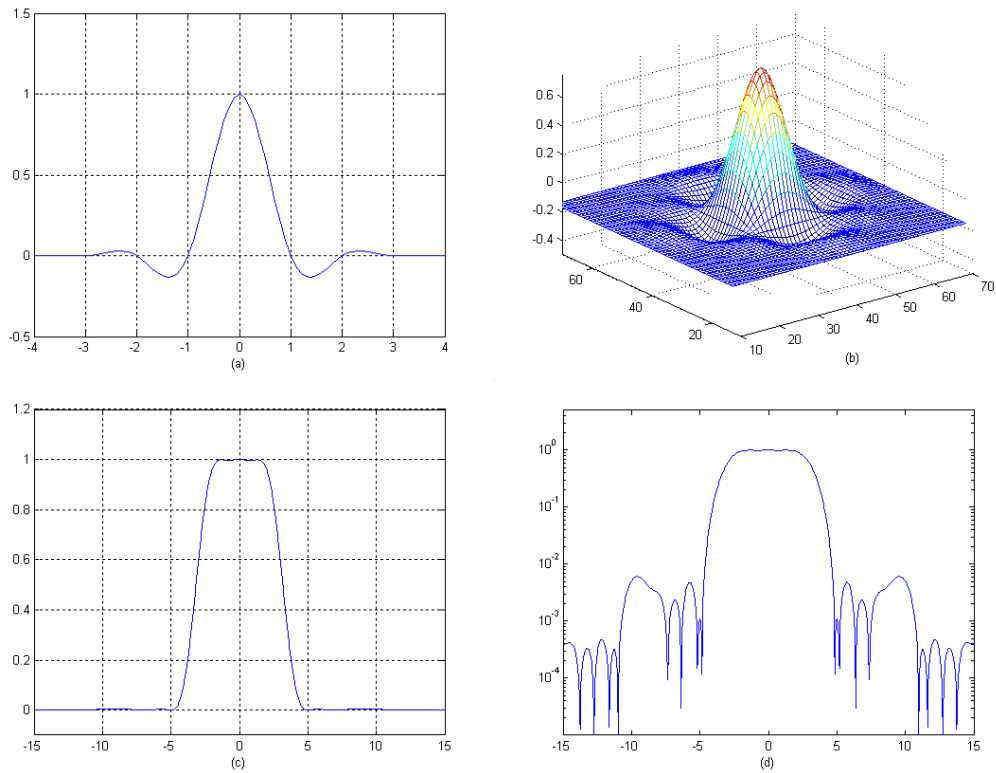
Ara değerlendirme fonksiyon büyüklüğünü ( $N$ ) arttırmak, yeniden örnekleme kalitesini artırır. Yukarıda tanımlanan sınır değerlerinde, sadece  $3N/2 + 1$  eşitliği  $2N$  parametresini belirlemek için sağlanmıştır. Bu nedenle  $N = 6$  için iki serbestlik derecesi,  $N = 8$  için üç serbestlik derecesi vardır ve bu parametreleri hesaplayabilmek için çeşitli fikirler öne sürülmüştür. Danielsson ve Hammer'ın fonksiyonu, sinc fonksiyonu ile aynı noktalarda ilk minimum değerinde tutmaya çalışmışlardır [8][9]. Keys tarafından önerilen fonksiyonda ise kenar loblarından daha uzaktakiler bastırılmıştır ve geçirme bandından söndürme bandına geçiş keskinleştirilmiştir [5].

Bununla birlikte tüm yaklaşıklıklar her  $N$  tercihi için geçerli değildir. Ek olarak, sinc fonksiyonuna uydurmak için yapılan her denemenin değerli bir ara değerlendirme düzeneği olacağı şüphelidir. Bazı örtülü varsayımlar, örneğin örnekleme teorisine ters düşerken iyi sonuçlar verebilir. Fonksiyonda kaybedilen yumuşaklık, Fourier uzayında istenmeyen dalgalanmalara neden olmaktadır.  $N/2-1$  bağımsız eşitlikleri çok terimlinin ikinci türevinin tüm temas noktalarında eşlenmeye zorlanması ile sağlanmaktadır. Bu sınır değerlerini kullanarak  $N=6$  için (14) ve  $N=8$  için (15) elde edilir. Şekil 3.9, (15)'e karşılık gelen kübik ara değerlemeyi göstermektedir. Başka örnek kübik fonksiyonları ile kıyaslandığında, geçirme kuşağı aralığının genişlediği ve kenar loblarının genliklerinin azalırken, kenarların keskinleştiği görülmüştür. Geçirme kuşağındaki yüksek frekanslar biraz da olsa kuvvetlendirilmiştir.

Dikkat edilmesi gereken nokta, sadece doğru akım kararlı ara değerlemelerin bu alt kısımda türetildiğidir. Sınır değerlerinin tanımı sayesinde denklem (5)'deki koşulla sağlanmıştır. Parçalardaki bütünlüğün korunması şartı ise tüm fonksiyon büyüklük ve parametrelerinde karşılanmıştır.

$${}^{cubic}h_6(x) = \begin{cases} 6/5|x|^3 - 11/5|x|^2 + 1, 0 \leq |x| < 1 \\ -(3/5)|x|^3 + (16/5)|x|^2 - (27/5)|x| + 14/5, 1 \leq |x| < 2 \\ (1/5)|x|^3 - (8/5)|x|^2 + (21/5)|x| - 18/5, 2 \leq |x| < 3 \\ 0, \quad \text{baska her yerde} \end{cases} \quad (14)$$

$${}^{cubic}h_8(x) = \begin{cases} 67/56|x|^3 - 123/56|x|^2 + 1, 0 \leq |x| < 1 \\ -(33/55)|x|^3 + (177/56)|x|^2 - (75/14)|x| + 39/14, 1 \leq |x| < 2 \\ (9/56)|x|^3 - (75/56)|x|^2 + (51/14)|x| - 45/14, 2 \leq |x| < 3 \\ -(3/56)|x|^3 + (33/56)|x|^2 - (15/7)|x| + 18/7, 3 \leq |x| < 4 \\ 0, \quad \text{baska her yerde} \end{cases} \quad (15)$$



Şekil 3.9 Kübik ara değerlendirme fonksiyonu ( $N=6$ )  
 a Sınırlandırılmış fonksiyon  
 b 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu  
 c Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu  
 d Genlik spektrumunun logaritmik gösterimi

### 3.8. Lagrange Ara Değerleme Yöntemi

Sayısal analizde Taylor çok terimlileri oldukça sık kullanılmaktadır. Taylor çok terimlilerin görüntü yeniden örneklenmesinde kullanılırken ortaya çıkan en başlıca eksikliği tek değişkenli fonksiyonlardan genişletilmiş olmalarıdır. Bunların yerine Lagrange çok terimlilerini kullanmak, çok terimlerinin geçmesi gereken noktaların belirlenebilmesinden dolayı uygundur. Özellikle  $N-1$  dereceli Lagrange çok terimlisi  $N$  noktadan geçer [3]. Sonlu sayıda noktalar için, bu çok terimlilerin sinc fonksiyonu yaklaşıklıkları [2]:

$$\text{sinc}(x) = \prod_{i=-\infty, i \neq 0}^{\infty} \left(1 + \frac{x}{i}\right) = \prod_{i=1}^{\infty} \left(1 - \frac{x^2}{i^2}\right)$$

olarak verilir.  $n \in \{-N/2+1, -N/2+2, \dots, N/2\}$  ile tanımlanmış  $N \times N$  bölgesi için  $N-1$ 'inci dereceden fonksiyon:

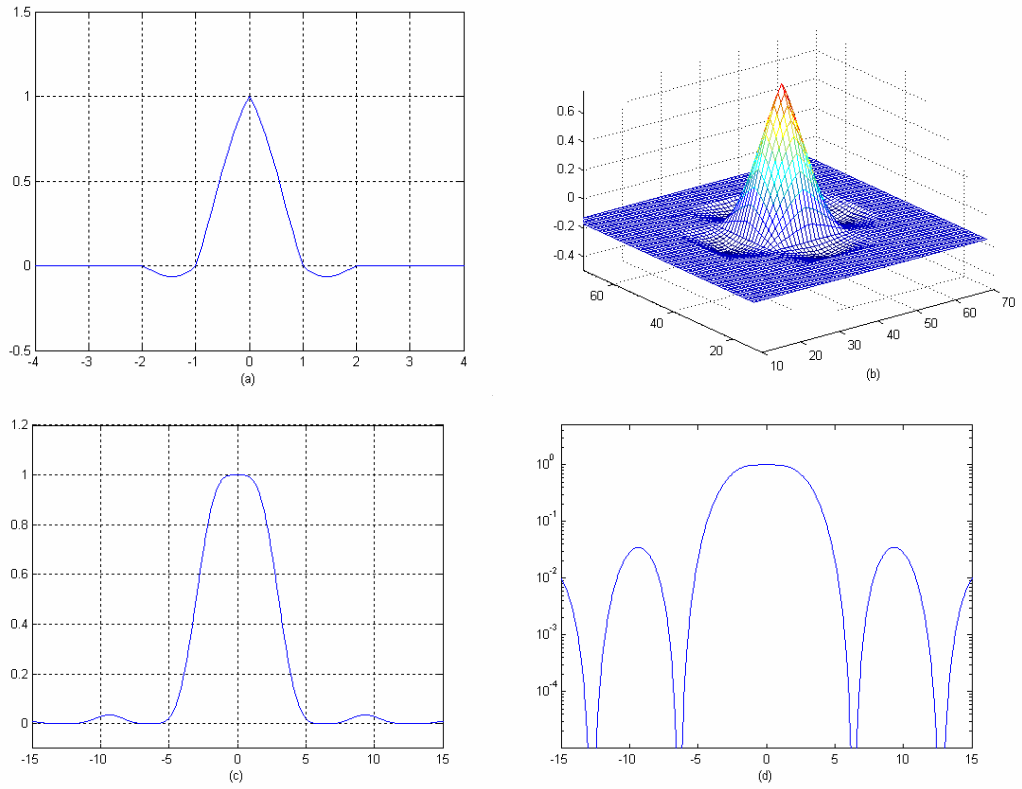
$${}^{Lagra}h_N(x) = \begin{cases} \prod_{j=0, j-\frac{N}{2}+1 \neq n}^{N-1} \frac{n-i-x}{n-i}, & n-1 \leq x < n \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (16)$$

$i = j - N/2 + 1$  olarak verilmiştir. Çarpma işleminin etkisiz elemanının bir olmasından dolayı Lagrange fonksiyonu  $N=1$  için en yakın komşuluk ara değerlemesine eşittir. Kolayca görülebilir ki  $N=2$  için ise doğrusal ara değerlendirme yöntemine eşittir. Yukarıda bahsedildiği üzere,  $N=4$  için Lagrange fonksiyonu kübik çok terimlisinin verir (17).  $N=5$  için 4. dereceden çok terimliler üretilir (18).

$${}^{Lagra}h_4(x) = \begin{cases} 1/2|x|^3 - |x|^2 + 1/2|x| + 1, & 0 \leq |x| < 1 \\ -(1/6)|x|^3 + |x|^2 - (1/16)|x| + 1, & 1 \leq |x| < 2 \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (17)$$

$${}^{Lagra}h_5(x) = \begin{cases} 1/4|x|^4 - (5/4)|x|^2 + 1, & 0 \leq |x| < 1/2 \\ -(1/6)|x|^4 + (5/6)|x|^3 - (5/6)|x|^2 - (5/16)|x| + 1, & 1/2 \leq |x| < 3/2 \\ (1/24)|x|^4 - (5/12)|x|^3 + (35/24)|x|^2 - (25/12)|x| + 1, & 3/2 \leq |x| < 5/2 \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (18)$$

Küçük bir cebirsel işlem sayesinde tüm Lagrange fonksiyonlarının doğru akım kararlı oldukları görülebilir. Bununla birlikte çift Lagrange ara değerlendirme fonksiyonları  $C1$  sürekliliğini  $x = N$  noktasında sağlayamadıkları için, Fourier dönüşümlerinde önemli kenar loblarına neden olmaktadır. Şekil 3.10,  $N=4$  için Lagrange fonksiyonunu göstermektedir.  ${}^{Lagra}h_4(x)$  zaman uzayında maskenin ortasında keskin bir kenara sahiptir. Fourier uzayında kenar loblarının genliği yaklaşık %4'tür.



Şekil 3.10 Lagrange ara değerlendirme fonksiyonu ( $N=4$ )  
a Sınırlandırılmış fonksiyon  
b 2 boyutlu sınırlandırılmış sinc fonksiyonu  
c Sınırlandırılmış fonksiyonun genlik spektrumu  
d Genlik spektrumunun logaritmik gösterimi

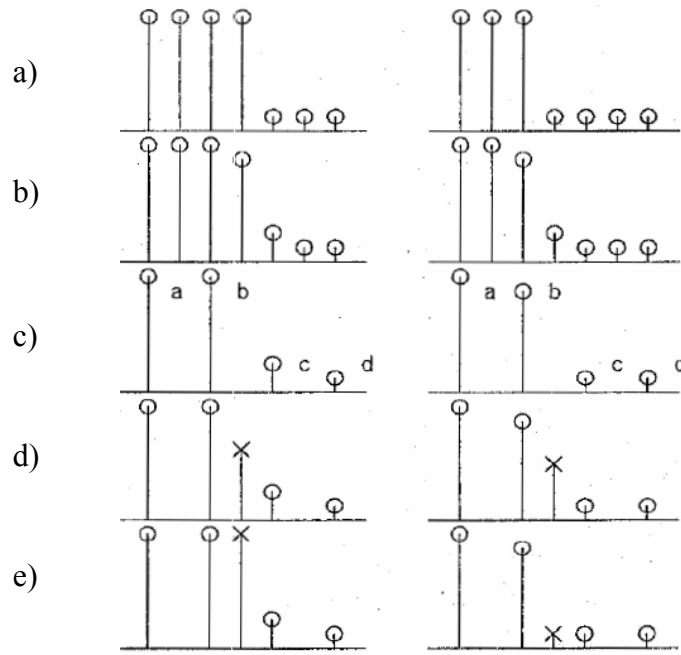
## **BÖLÜM 4. UYARLAMALI YÖNTEMLER**

### **4.1. Kenar Duyarlı Görüntü Ara Değerleme Yöntemi**

Kenar duyarlı görüntü ara değerleme yöntemi, kendine keskin kenarları doğru olarak yeniden üreten doğrusal olmayan bir filtreyi temel alan, istenilmeyen etkileri en aza indiren bir yöntemdir. Önerilen yaklaşım gerçek görüntülerin elde edilmesini sürecini dikkate alarak oluşturulmuştur. Herhangi bir görüntü, ya daha yüksek çözünürlüklü bir görüntüde, ilk olarak alçak geçiren bir filtreden geçirilerek ve alt örneklenerek ve sonra da örtüşme önleyici bir alçak geçiren filtre uygulanarak oluşturulmuştur veya herhangi bir görüntü yakalama aygıtı ile elde edilmiştir.

İdeal bir kenar, görüntü üzerinde oluşmuş ise, yukarıda anlatılan filtreleme işlemi simetrik veya asimetric olarak komşu piksel değerlerini yüksek çözünürlükteki kenarın pozisyonuna göre değiştirir. Alt örneklemeden sonra, bunun bir sonucu olarak, düşük çözünürlüklü görüntünün piksellerinin analizi kenar pozisyonlarında alt piksellerin bilgisini verir. Bu noktalarda doğrusal ara değerleme yöntemlerine göre daha yüksek doğruluk ile (ve keskinlik ile) ara değerleme yapılmalıdır. Yöntem yüksek çözünürlüklü görüntü hakkında herhangi bir ön bilgi olmadan, düşük çözünürlüklü görüntüdeki kenarların, yüksek çözünürlüklü görüntü üzerindeki daha dik kenarlardan türetildiğini kabul eder ve kenarları dik kenarlar olarak yeniden üretmeye çalışır.

Ara değerleme, ara değeri olacak  $x$  noktasının komşu piksellerinin doğrusal olmayan bir ortalaması değerlendirilerek gerçekleştirilir. Kolaylık olması açısından bir boyutlu uzayda yöntem açıklanırsa, şekil 4.1c'de görülebileceği gibi, yeniden üretilecek kenarın olası iki pozisyonu vardır, ve bu pozisyonu düşük çözünürlüklü görüntüde  $a-b$  ve  $c-d$  uzaklıkları değerlendirilerek kestirilebilir.



Şekil 4.1 Bir boyutlu durumda doğrusal ve kenar duyarlı ara değerlendirme  
a Orijinal (yüksek çözünürlüklü)  
b Alçak geçiren filtre uygulanmış  
c Alt örnekleme yapılmış işaret  
d Doğrusal ara değerlendirme  
e Kenar duyarlı ara değerlendirme

Şekil 4.1a yüksek çözünürlüklü görüntüde kenar pozisyonunun etkisini göstermektedir. Şekil 4.1b 'de 4.1a'nın alçak geçiren filtreden geçirilmesi ile elde edilmiştir. Şekil 4.1c'de Şekil 4.1b alt örnekleme yapılarak oluşturulmuştur. Arka arkaya dört piksel  $a, b, c, d$  ve ideal ara değerlendirici piksel  $x$  için ( $b$  ile  $c$  arasında)  $b$ 'ye (soldaki) veya  $c$ 'ye (sağdaki) yakın bir değer üretmelidir. Ancak doğrusal ara değerlendirme bunu başaramamaktadır [Şekil 4.1d]. Teklif edilen yöntem için,  $x$

$$x = \mu b + (1 - \mu)c$$

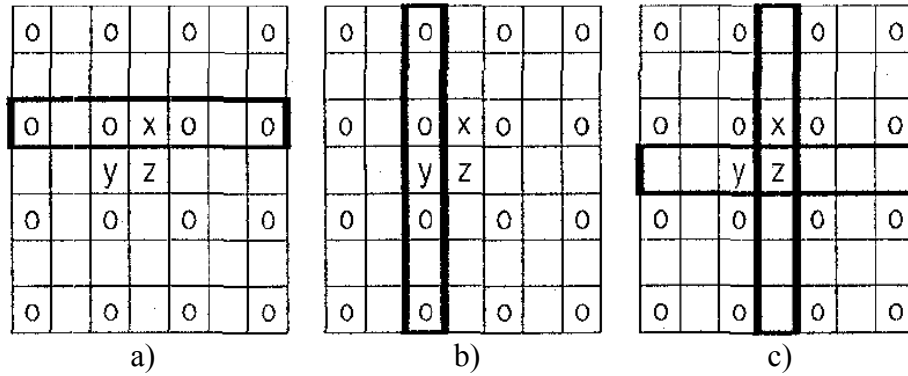
$$\mu = \frac{k(c-d)^2 + 1}{k((a-b)^2 + (c-d)^2) + 2}$$

Denklemleri kullanılarak kestirilir.  $k$  yöntemi kontrol eden kullanıcı tanımlı bir değişkendir.  $k=0$  için bir doğrusal ara değerlendirme elde edilir,  $k$ 'nın pozitif değerlerinde ise istenen kenar hassasiyeti sağlanmaktadır.



Eğer kenar  $b$  ile  $c$ 'nin ortasında ise,  $a-b=c-d$  olduğundan  $\mu=0.5$  ve  $x=(b+c)/2$  ve yöntem doğrusal olan gibi davranır. Eğer kenar asimetrik yerleştirilmiş ise değerlendirilen uzaklık artık eşit değildir. Örneğin kenar  $c$ 'ye daha yakın olursa,  $a-b < c-d$  olacağından  $\mu > 0.5$  ve  $x \approx b$  olur.

#### 4.1.1. İki Boyutlu Durum



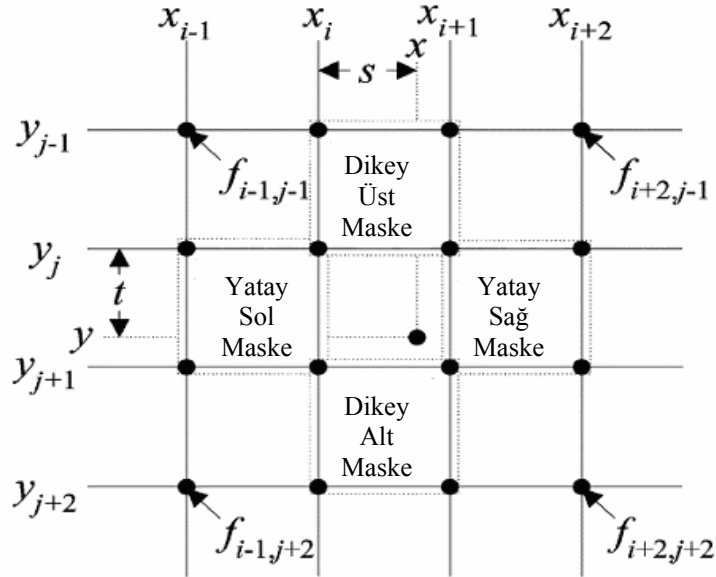
Şekil 4.2 Kenar duyarlı yöntemin iki boyuta uyarlanması  
a Yatay eksenin hesaplanması  
b Dikey eksenin hesaplanması  
c Köşegen eksenin hesaplanması

Şekil 4.2'de gösterilen 0'lar alt örneklenmiş orijinal görüntünün pikselleridir ve yöntem uygulanırken bu pikseller kullanılmalıdır. Yatay eksendeki  $x$  değeri hesaplanırken, bir boyutlu olarak önerilen yöntem ile şekil 4.2a'da koyu renk ile gösterilen maske uygulanmalıdır, dikey eksen için de  $y$  değerini bulabilmek için benzeri bir yaklaşımla şekil 4.2b'de koyu renk ile gösterilen maske uygulanmalıdır. Köşegen eksen için ise, daha önceden hesaplanmış pikseller kullanılarak, şekil 4.2c'de gösterilen dikey ve yatay maskeler ayrı ayrı uygulanır, bulunan iki sonucun ortalaması alınarak  $z$  değeri hesaplanır.

Her ne kadar basit olsa da çözüm kenarları doğru bir şekilde yeniden üretebilir ve köşe yönü belirlemek de gerekli değildir. Aslında, önerilen bir boyutlu yöntem, piksel konumlarının paralel veya dik olmalarına göre, her iki durum için de çalışır. Bu durum dikey ve yatay eksenler için kolayca görülebilir.

## 4.2. Yerel Eğim Özellikleri Temelli Uyarlamalı Ara Değerleme Yöntemleri

Yerel eğim özellikleri temelli uyarlamalı ara değerlendirme yöntemi, büyütme faktöründen bağımsız, ters eğim özelliklerine kullanan, verimli ve iyi ara değerlendirme kalitesine sahip bir yöntemdir. Geleneksel doğrusal ve kübik ara değerlendirme yöntemlerine ters eğim uygulaması, bu yöntemlerin nitel özelliklerini artırır ve orijinaline kıyasla görüntü kalitesini daha iyi bir hale getirir. Yöntem daha ayrıntılı olarak uyarlamalı doğrusal ve uyarlamalı kübik yöntemlerinde ele alınacaktır. Yöntem temel motivasyonunu, sayısal kameralarda bulunan renkli filtre diziliminde, mozaik etkisini çözmede ve kayıp renkleri bulunmasının geliştirilmesi için ters eğim özelliklerini kullanan [8] yönteminden almıştır.



Şekil 4.3 Ters eğimlerin ağırlıklarının maskesi

### 4.2.1. Uyarlamalı doğrusal ara değerlendirme yöntemi

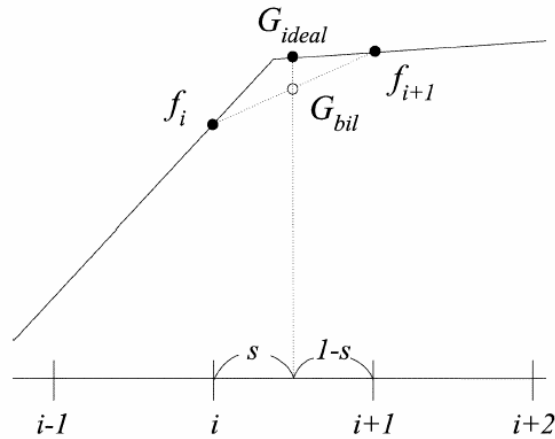
Aşağıdaki ifadelerde,  $f$  iki boyutlu sayısal giriş görüntüsünü,  $G$  ara değerlendirme fonksiyonunu simgeleyen iki değişkenli bir fonksiyonu ve  $g$  çıkış sayısal görüntüsünü göstermektedir. Sayısal çıkış görüntüsü:

$$g^{k,l} = G\left(\frac{k}{r}, \frac{l}{r}\right) \quad (19)$$

bağıntısı ile ifade edilir, burada  $r$  büyütme faktörünü,  $k$  ve  $l$  de piksel koordinatlarını belirtmektedir. Eğer  $(x, y)$  Şekil 4.3'deki  $[x_i, x_{i+1}] \times [y_j, y_{j+1}]$  dikdörtgen alt bölümünün içersinde ise iki boyutlu doğrusal ara değerlendirme yöntemi  $G_{bil}$  :

$$G_{bil}(x, y) = (1-t)((1-s)f_{i,j} + sf_{i+1,j}) + t((1-s)f_{i,j+1} + sf_{i+1,j+1}) \quad (20)$$

Olarak verilir. Formülde  $s = x - x_i$   $t = y - y_j$  olarak tanımlanmıştır. Genellikle klasik doğrusal ve kübik ara değerlendirme yöntemleri ile üretilmiş görüntülerde bulanıklılık, görüntünün yerel özelliklerinin ihmal edilmesinden kaynaklanır. Şekil 4.4'de gösterildiği gibi her giriş pikselinin ağırlığı, şekil 4.3'deki sadece  $s$  ve  $t$  uzaklıklarının bir fonksiyonudur. Ancak uzaklığa ek olarak, ağırlık da, yerel görüntü özelliklerine bağlı olarak sezilmelidir. Bu sayede daha iyi bir görüntü kalitesi elde edilir. Şekil 4.4, doğrusal ara değerlemenin bir boyutlu kısıtlamalarını gösterir.  $G_{bil}$   $[i, i+1]$ 'yi doğru bir şekilde gerçek  $G_{ideal}$ 'i eğim değişimi ani olduğu için temsil edememektedir. Bu neden, iki boyutlu görüntüdeki kenarlarla uyuşur. Böylece,  $G_{bil}$ 'i  $G_{ideal}$ 'e yakınlaştırmak amacı ile  $G_{bil} = (1-s)f_i + sf_{i+1}$  ifadesinde  $1-s$  ve  $s$  ağırlıklarının değiştirilmeye ihtiyacı vardır. Eğer  $1-s$  ve  $s$  ağırlıkları, her ikisi içinde,  $f_i$  ve  $f_{i+1}$ 'nin normalize edilmiş yerel eğimlerine bölünür ise,  $f_{i+1}$ 'in normalize edilmiş yerel eğimi  $f_i$ 'den küçük olduğundan,  $f_i$  için ağırlık azalır ve  $f_{i+1}$  için ağırlık artar. Bu  $G_{bil}$ 'i genişletir ve  $G_{ideal}$ 'e yaklaştırır. Bu yüzden ağırlıklar  $f_i$  ve  $f_{i+1}$ 'in oranına göre belirlenmelidir. Bu yaklaşımla yöntem bilinen ara değerlendirme yöntemlerinin algısal performansını arttırabilmek için ters eğimi kullanarak yeni iki yaklaşım önermektedir.



Şekil 4.4 Bir boyutta doğrusal ara değerlendirme

Şekil 4.3 ters eğim ağırlıklarına ilişkin tanımlı dört maskenin açıklamasını vermiştir ( $H_l, H_r, V_u, V_l$ ). Örneğin  $H_l$  dört komşu piksel  $f_{i-1,j}, f_{i,j}, f_{i-1,j+1}$  ve  $f_{i,j+1}$  elemanlarından oluşmuş yatay sol maskeden üretilmiştir. Ters eğim ağırlığı:

$$\begin{aligned}
 H_l &= \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha(\text{abs}(f_{i,j} - f_{i-1,j}) + \text{abs}(f_{i,j+1} - f_{i-1,j+1}))}} \\
 H_r &= \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha(\text{abs}(f_{i+1,j} - f_{i+2,j}) + \text{abs}(f_{i+1,j} - f_{i+2,j+1}))}} \\
 V_u &= \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha(\text{abs}(f_{i,j} - f_{i,j-1}) + \text{abs}(f_{i+1,j} - f_{i+1,j-1}))}} \\
 V_l &= \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha(\text{abs}(f_{i,j+1} - f_{i,j+2}) + \text{abs}(f_{i+1,j+1} - f_{i+1,j+2}))}}
 \end{aligned} \tag{21}$$

olarak tanımlanmıştır. İfadeleri  $\alpha$  görüntünün keskinliğini kontrol eden keskinlik sabit olup,  $[0,1]$  aralığında değer alır. Değeri sıfır olduğunda ters eğim ağırlığı bir olur. Bu da orijinal doğrusal ara değerlemeye karşı düşmektedir. Eğer  $\alpha$  değeri artarsa, ters eğim ağırlığı birin altına düşer, daha keskin görüntüler üretilir. Ters eğim ağırlıklarını kullanarak uyarlamalı doğrusal ara değerlendirme:

$$G_{bil}^A = w_0^v(w_0^h f_{i,j} + w_1^h f_{i+1,j}) + w_1^v(w_0^h f_{i,j+1} + w_1^h f_{i+1,j+1}) \tag{22}$$

ile ifade edilir. Burada  $w_0^h = (Hl(1-s)/D_{bil}^h)$ ,  $w_1^h = Hrs/D_{bil}^h$ ,  $w_0^v = (Vu(1-t)/D_{bil}^v)$ ,  $w_1^v = Vit/D_{bil}^v$ ,  $D_{bil}^h = Hl(1-s) + Hrs$  ve  $D_{bil}^v = Vu(1-t) + Vit$  olarak tanımlanır.

#### 4.2.2. Uyarlamalı kübik ara değerlendirme yöntemi

İki boyutlu kübik ara değerlendirme fonksiyonu:

$$G_{bic}(x, y) = \sum_{n=-1}^2 \sum_{m=-1}^2 f_{i+m, j+n} \cdot P_{m+1}(s) \cdot P_{n+1}(t) \quad (23)$$

olarak verilmiştir. Burada:

$$P_0(u) = (-u^3 + 2u^2 - u)/2, P_1(u) = (3u^3 - 5u^2 + 2)/2, P_2(u) = (-3u^3 + 4u^2 + u)/2$$

$$P_3(u) = (u^3 - u^2)/2, s = x - x_i, t = y - y_i$$

olarak tanımlanmıştır. Uyarlamalı kübik ara değerlemede aynı ters eğim ağırlıkları kullanılarak uyarlamalı kübik ara değerlendirme:

$$G_{bic}^A(x, y) = \sum_{n=-1}^2 \sum_{m=-1}^2 f_{i+m, j+n} \cdot w_{m+1}^h(s) \cdot w_{n+1}^v(t) \quad (24)$$

olarak belirtilir. İfadede  $w_0^h(u) = P_0(u)/D_{bic}^h$ ,  $w_1^h(u) = HP_1(u)/D_{bic}^h$ ,  $w_2^h(u) = HrP_2(u)/D_{bic}^h$ ,  $w_3^h(u) = P_3(u)/D_{bic}^h$ ,  $w_0^v(u) = P_0(u)/D_{bic}^v$ ,  $w_1^v(u) = VuP_1(u)/D_{bic}^v$ ,  $w_2^v(u) = ViP_2(u)/D_{bic}^v$ ,  $w_3^v(u) = P_3(u)/D_{bic}^v$  olarak  $D_{bic}^h = P_0(u) + HP_1(u) + HrP_2(u)$  ve  $D_{bic}^v = P_0(u) + VuP_1(u) + ViP_2(u) + P_3(u)$  olarak verilmiştir.

## **BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME**

### **5.1. Ara Değerleme Metotlarının Görsel Sonuçları**

#### **5.1.1. Dört kat büyütme için görsel sonuçlar**

Bu bölümde uyarlamalı olmayan yöntemlerin görsel sonuçlarına yer verilmiştir. İlk olarak örnek görüntünün boyutu dörtte bir oranında düşürülerek düşük boyutlu görüntü elde edilmiş [şekil 5.2], ardından uyarlamalı olmayan yöntemler ile görüntü boyutu orjinal görüntünün boyutuna yükseltilmiştir. Orjinal görüntüyle karşılaştırma yapılabilmesi için şekil 5.1’de orijinal görüntüye yer verilmiştir. Uyarlamalı olmayan ara değerlendirme metotlarından en iyi sonuç vereni şekil 5.10’da sonuçları gösterilen kübik ara değerlendirme yöntemidir. En kötü sonuç ise şekil 5.3’de gösterilen en yakın komşuluk yönteminde gözlemlenmiştir.



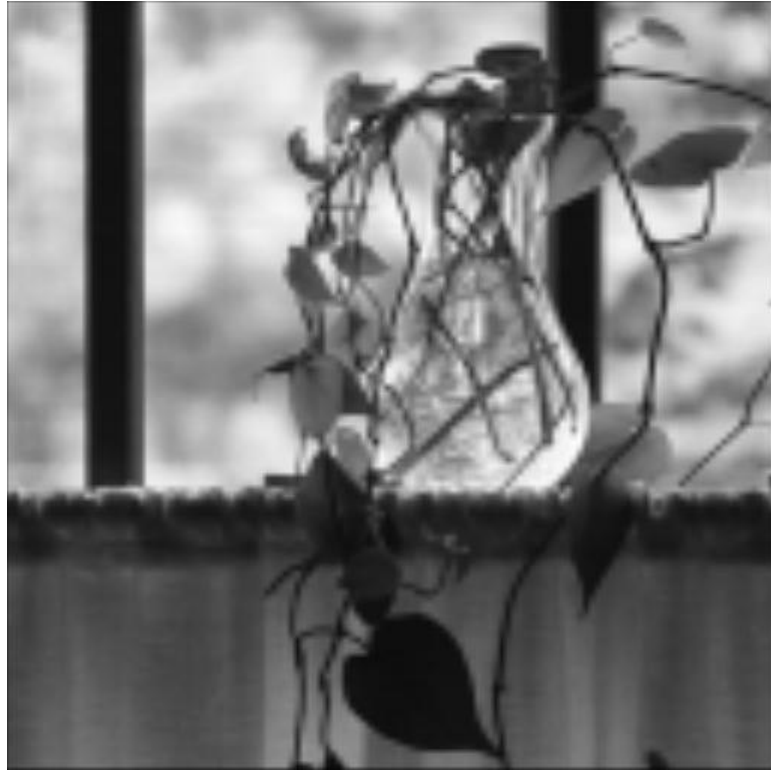
Şekil 5.1 Orjinal test görüntüsü



Şekil 5.2 Çözünürlüğü dört kat düşürülmüş görüntü



Şekil 5.3 En yakın komşuluk ara değerlendirme yöntemi ile dört kat büyütülmüş görüntü



Şekil 5.4 Doğrusal ara değerlendirme yöntemi ile dört kat büyütülmüş görüntü

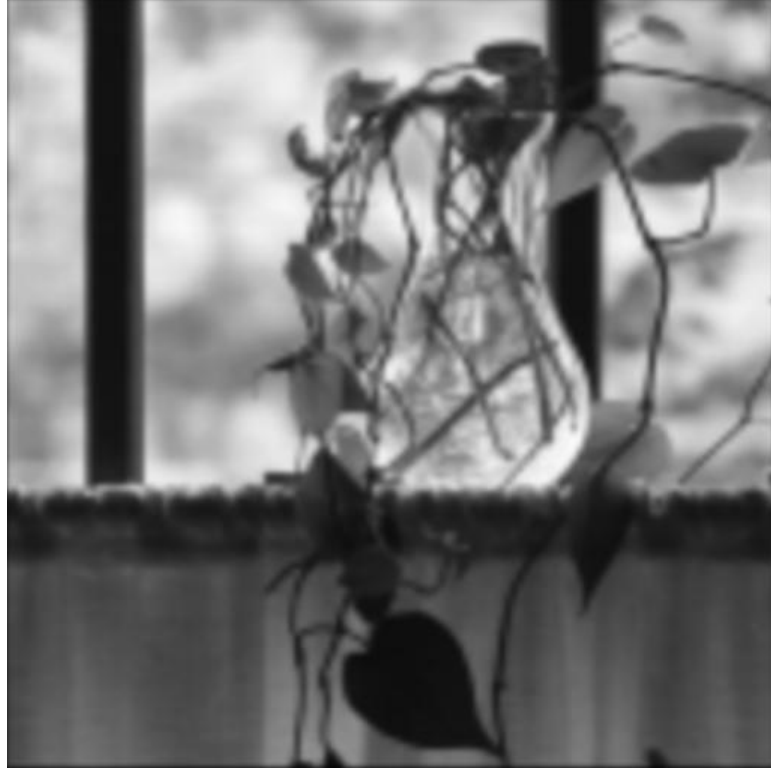




Şekil 5.5 Sınırlandırılmış sinc (N=5) ara değerlendirme yöntemi ile dört kat büyütülmüş görüntü



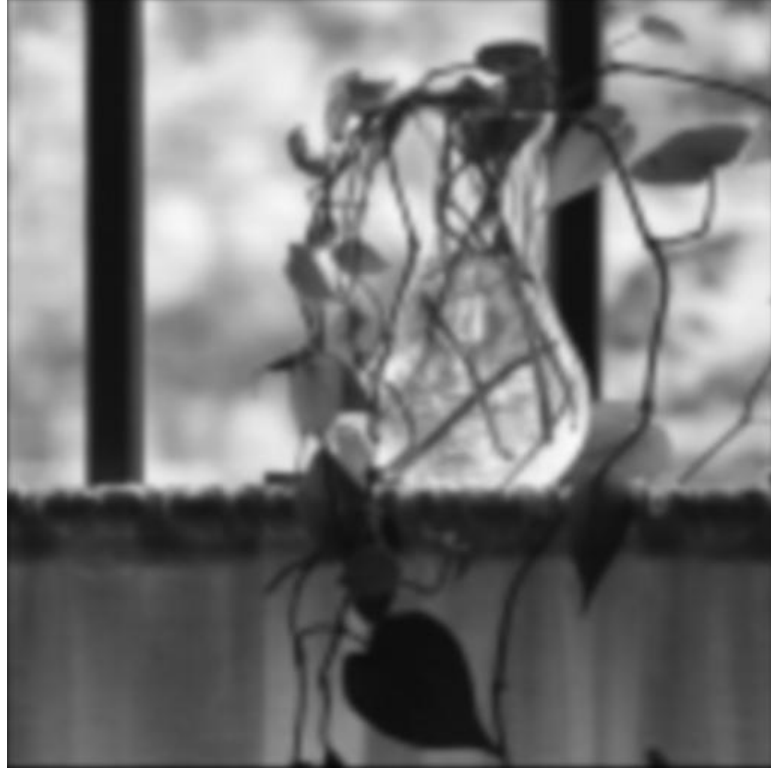
Şekil 5.6 Sınırlandırılmış sinc (N=6) ara değerlendirme yöntemi ile dört kat büyütülmüş görüntü



Şekil 5.7 Karesel ara değerlendirme yaklaşıklığı ile dört kat büyütülmüş görüntü



Şekil 5.8 Karesel ara değerlendirme yöntemi ile dört kat büyütülmüş görüntü



Şekil 5.9 B-spline ara değerleme yaklaşıklığı ile dört kat bytlmş görüntü



Şekil 5.10 Kübik ara değerleme yöntemi (N=6) ile dört kat bytlmş görüntü



Şekil 5.11 Lagrange ara değerleme yöntemi ( $N=4$ ) ile dört kat büyütölmüş görüntü



Şekil 5.12 Blackman-Harris ( $N=5$ ) ara değerleme yöntemi ile dört kat büyütölmüş görüntü

### 5.1.3. İki kat büyütme için görsel sonuçları

Bu bölümde test görüntüsü iki kat küçültülmüş [şekil 5.13] ve uyarlamalı yöntemler ile çözünürlük eski haline getirilmiştir [şekil 5.(14-16)]. Kıyaslanabilmesi açısından, uyarlamalı olmayan ara değerlendirme yöntemlerinden görsel olarak iyi sonuç elde edilenler kullanılarak aynı şekilde görüntü oluşturulmuş ve sonuçlara [şekil 5.(17-20)]'de yer verilmiştir.



Şekil 5.13 Çözünürlüğü iki kat azaltılmış görüntü



Şekil 5.14 Kenar duyarlı görüntü ara değerlendirme yöntemi ile iki kat büyütülmüş görüntü



Şekil 5.15 Uyarlamalı doğrusal ara değerlendirme yöntemi ile iki kat büyütülmüş görüntü



Şekil 5.16 Uyarlamalı kübik ara değerlendirme yöntemi ile iki kat büyütülmüş görüntü



Şekil 5.17 Doğrusal ara değerlendirme yöntemi ile iki kat büyütülmüş görüntü



Şekil 5.18 Kübik (N=6) ara değerlendirme yöntemi ile iki kat büyütülmüş görüntü



Şekil 5.19 Karesel ara değerleme yöntemi ile iki kat büyütülmüş görüntü



Şekil 5.20 Lagrange (N=4) ara değerleme yöntemi ile iki kat büyütülmüş görüntü



## 5.2. Fourier Analizi

Fourier analizi, uyarlamalı olmayan ara değerleme fonksiyonlarının değerlendirilmesinde kullanılır. Üçüncü bölümde bu fonksiyonların Fourier dönüşümlerine ve incelemelerine yer verilmiştir. Ancak fonksiyonların analitik olarak ifade edilemediği yöntemlerde Fourier dönüşümü yapılamaz. Bu yüzden uyarlamalı yöntemler için Fourier analizi yapmak mümkün değildir.

Fourier uzayında kalite değerlendirilmesi için karakteristik üç özellik üzerinde durulmuştur:

- Geçirme bandı ideal sabit kazançtan sapma
- Kesim frekansında fonksiyonun genlik ve eğimi
- Söndürme bandında kenar loblarının ve dalgalanmaların varlığı ve varsa genliği

Geçirme bandında sapma önemlidir, çünkü geçirme bandı boyunca zayıflama bulanıklılığa neden olur, kuvvetlenme ise ara değerlenen görüntünün keskinliğinin görüntü gürültüsü ile birlikte artmasına neden olur. Kesim frekansındaki genliğin yüksek olması ve eğimin küçük olması örtüşme etkisine neden olur. Kenar lob anormallikleri de önemli olabilir çünkü kenar lobları, geçirme bandı boyunca ayrık görüntü spektrumunun tekrarlanmasına yol açar. Her bir kriterin önemi, ara değerlenecek görüntünün Fourier spektrumuna bağlıdır. İdeal maske, Şekil 2.12b gösterilen geçirme bandında sabit genlikli dikdörtgen şekile karşılık gelmektedir, kesim frekansında sonsuz eğim vardır ve söndürme bandı boştur. Ancak zaman uzayındaki değişiklikler, geçirme bandı boyunca önemli ölçüde bozulmaya ve söndürme bandında büyük dalgalanmalara neden olur [Şekil 3.1][Şekil 3.2].

### 5.2.1. Geçirme bandı

En yakın komşuluk ve doğrusal ara değerleme, aynı zamanda karesel yaklaşıklığı ve B-spline yaklaşıklığı geçirme bandında ideal şeklinden en büyük sapmayı sergilemişlerdir. Bu yüzden, görüntü ara değerleme sürecinde ciddi bir şekilde bulanıklaşmıştır ve bu metotlar keskin olmayan kenarlara ve yüksek kontrasta sahip

sahnelerde kullanılmalıdır. En iyi geçirme bandı karakteristikleri, pencerelemiş sinc ve geniş fonksiyon büyüklüklü kübik ve Lagrange ara değerlendirme yöntemlerinde sağlanmıştır.

### 5.2.2. Kesim frekansı

Sınırlandırılmış sinc, kübik ve Lagrange ara değerlendirme yöntemleri en iyi sonucu vermişlerdir. En kötü kesim frekansı performansını en yakın komşuluk yöntemi göstermiştir. Doğrusal ara değerlendirme de kesim frekansı ölçütü baz alındığında başarısız olmuştur.

### 5.2.3. Söndürme bandı

Fonksiyonun kesim frekansındaki kazancına benzer olarak, söndürme bandı karakteristiği örtüşme etkisinin sorumlusudur. Sınırlandırılmış sinc, en yakın komşuluk, doğrusal ve karesel ara değerlendirme yöntemleri ile Lagrange ara değerlemesi dalgalanmalar veya genlikleri %1'den daha yüksek kenar lobları üretmişlerdir. Oysa Blackman-Harris pencerelemiş sinc ara değerlemesinde bu değer %0.01'in altındadır.

## 5.3. Nicel Özelliklere Göre Değerlendirme

Ara değerlendirme kalitesini gösteren diğer bir ölçüt de, görüntü üzerinde ara değerlendirme sırasında oluşmuş gürültü ile orjinal görüntünün matematiksel oranını belirleyip kıyaslamaktadır. En yaygın kullanılan ölçüt işaret gürültü oranı (SNR) olarak adlandırılan ve

$$SNR = 10 \log_{10} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} s(i, j)^2}{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} s(i, j) - \hat{s}(i, j)} \right\}$$

olarak ifade edilen ölçüttür. Yukarıdaki formülde  $s(i, j)$  orijinal görüntüyü,  $\hat{s}(i, j)$  ise ara değerlendirme sonucu oluşturulan görüntüyü belirtmektedir. Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de her bir metot için hesaplanan SNR değerleri verilmiştir. Sonuçlar iki kat büyütme için hesaplanmıştır. Tablodan da görüleceği üzere SNR değerine göre en iyi sonuç uyarlamalı kübik ara değerlendirme yöntemidir.

Tablo 5.1 Uyarlamalı olmayan yöntemlerin iki kat büyütme için SNR tablosu

Ara değerlendirme yöntemi	SNR
En yakın komşuluk	17.7515
Doğrusal	18.1938
Sınırlandırılmış sinc N=5	18.3695
Sınırlandırılmış sinc N=6	15.1009
Pencerelenmiş sinc N=6	18.3771
Karesel ara değerlendirme	18.4936
Karesel Yaklaşıklığı	17.6343
B-spline Yaklaşıklığı	17.1841
Kübik ara değerlendirme N=6	18.7807
Lagrange ara değerlemesi	18.6009

Tablo 5.2 Uyarlamalı yöntemlerin iki kat büyütme için SNR tablosu

Ara değerlendirme yöntemi	SNR
kenar duyarlı uyarlamalı	20.4934
Uyarlamalı doğrusal	21.5082
Uyarlamalı kübik	21.7773

#### 5.4. Hesap Yüğü Değerlendirme

Günümüzde sayısal televizyon yayıncılığı gibi gerçek zamanlı görüntü işleme uygulamaları ile sıkça karşılaşılmaktadır. Gerçek zamanlı uygulamalarda en önemli ölçütlerden biri de, görüntü kalitesinin yanında, hesap yükünün düşük olmasıdır. Tablo 5.3, incelenen metotlar çalıştırılarak iki kat büyütme için elde edilen

hesaplama zamanı ölçümlerinden oluşturulmuştur. Ancak bu ölçüt, yöntemin optimum bir şekilde gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği ile yakından ilişkilidir. Ayrıca, uyarlamalı olmayan yöntemlerde, piksel bazlı çalışılmadığı için Matlab'ın hızlı vektörel işlemlerinden faydalanılmıştır. Ancak uyarlamalı yöntemlerde vektörel işlemlerden faydalanılmadığı için oldukça yüksek hesap yükü ortaya çıkmıştır. Uygun gerçekleştirmeler ile hesap yükünün çok düşürülebileceği açıktır. Ölçümler sonucunda en hızlı ara değerlendirme yöntemleri en yakın komşuluk ve doğrusal ara değerlendirme yöntemleri olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 5.3 Uyarlamalı olmayan yöntemlerin iki kat büyütme için hesap yükü tablosu

Ara değerlendirme yöntemi	Hesap Yükü (sn)
En yakın komşuluk	0.0910
Doğrusal	0.0700
Sınırlandırılmış sinc N=5	0.1700
Sınırlandırılmış sinc N=6	0.2110
Pencerelenmiş sinc N=6	0.1700
Karesel ara değerlendirme	0.0800
Karesel Yaklaşıklığı	0.1000
B-spline Yaklaşıklığı	0.1400
Kübik ara değerlendirme N=6	0.2100
Lagrange ara değerlemesi	0.1510

Tablo 5.4 Uyarlamalı yöntemlerin iki kat büyütme için hesap yükü tablosu

Ara değerlendirme yöntemi	Hesap Yükü (sn)
kenar duyarlı uyarlamalı	11.6460
Uyarlamalı doğrusal	2.1260
Uyarlamalı kübik	69.2280

## 5.5. Yorumlar

Her ne kadar görüntü ara değerlemenin kullanılması bilgisayarlı görüntü işlemenin tarihi kadar eski ise de, ara değerleme teknolojileri halen tartışılmakta ve yeni teknolojiler tanıtılmaktadır. Ayrıca uygulamadan uygulamaya ve ihtiyaca göre ara değerleme yöntemi seçilmesi gerektiğinden, optimum teknolojiyi bulmak da bir hayli zordur.

Bu tezde, ara değerleme yöntemlerinin genel karakteristiklikleri açıklanmıştır. Yöntemlerin hataları, görüntünün içeriğine göre değişmektedir. Ayrıca diğer bir önemli nokta, büyütölme oranı küçüldükçe oluşan hata miktarının da düşmesidir. Tüm ara değerleme yöntemleri görüntüyü az veya çok bulanıklaştırmaktadır. Keskin kenarlı ve yüksek kontrastlı görüntüler, diğer görüntülere göre ara değerlemeden daha çok etkilenmektedir. Yöntemlerin kıyaslanması, uyarlamalı olmayan yöntemler için fonksiyonların zaman ve Fourier uzayı analizi, tüm metotlar için nicel değerlendirme, görüntü kalitesi değerlendirmesi ve hesaplama zamanı temel alınarak yapılmıştır. Frekans uzayı değerlendirmesinde en genel olarak iyi karakteristiğe sahip yöntem kübik ara değerleme olarak görölmektedir. Blackman-Harris pencerelenmiş sinc yöntemi en iyi söndürme bandı karakteristiğe sahip yöntemdir. En yakın komşuluk metodu en hızlı yöntem olmak ile birlikte, aynı zamanda en fazla hataya neden olan yöntemdir.

Genel olarak tanımlı olduğu nokta sayısı fazla olan fonksiyonlar küçük olanlara göre daha üstün bir performans sergilemektedir. Ancak fonksiyonun tanımlı olduğu nokta sayısının artması, hesaplama süresini de ciddi bir biçimde arttırmaktadır. Günümüzün modern sistemlerinde gerçek zamanlı veri işleme gereği düşünöldüğünde, düşük hesap yükü önem kazanmaktadır.

Fourier analizi yardımcı ile bulunan geçirme bandı, söndürme bandı ve kesim frekansı ölçütlerine göre, en yakın komşuluk ve doğrusal ara değerleme en kötü sonuçları, kübik ara değerleme yöntemini ise en iyi sonuçları vermiştir. Özetle, uyarlamalı olmayan yöntemler arasında en iyi sonucu veren yöntem kübik ara değerleme olarak bulunmuştur, hız ve kalitenin birlikte istendiği durumlarda ise karesel ara değerleme

yöntemi daha uygun görülmüştür. Sadece hız parametresi yönünden değerlendirildiğinde ise en yakın komşuluk veya doğrusal ara değerlendirme yöntemleri en uygun çözümlerdir.

Uyarlamalı yöntemler ise, görüntü kalitesi olarak genelde uyarlamalı olmayan yöntemlere göre özellikle sık kenar bulunan görüntülerde üstün performans sergilemişlerdir. Görüntü kalitesi ve nicel gözlemlere göre tüm metotlar arasında yöntemlerin en iyi sonuç vereni, ters eğim özelliğini kullanarak piksellere ağırlık kazandıran uyarlamalı kübik ara değerlemede yöntemidir. Bu yöntemler arasında en hızlı olanı, algoritmasının sadeliğinden dolayı kenar duyarlı görüntü ara değerlendirme yöntemidir. Ancak incelenen uyarlamalı üç yöntem de, görüntünün özelliklerini piksel piksel analiz ettiğinden oldukça fazla hesaplama zamanı gerektirmektedir ve gerçek zamanlı uygulamalarda dikkatle ve optimum bir şekilde gerçekleştirilmelidirler.

Özellikle uyarlamalı yöntemlerin gerçekleştirme maliyetinin azaltılması, uyarlamalı olmayan yöntemler ile birlikte kullanımları için algoritmalar teklif edilmektedir, konu halen gelişmeye açık bir durumdadır.

Ayrıca yüksek çözünürlük gerektiren uygulamalar için diğer bir alternatif de, eğer aynı sahne için birden çok farklı görüntü elde edilebiliyor ise bu görüntülerdeki bilgileri uygun bir şekilde işleyip yüksek çözünürlük yakalayan süper çözünürlük yöntemleridir. Bu yöntemler ara değerlendirme metotlarından daha iyi sonuçlar verebilirler. Kara ve Vural'ın [22]'de belirtilen çalışmaları, meraklı oyuncu için iyi bir başlangıç noktasıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] SCHAFER R. , WAND L. R, “A digital signal processing approach to interpolation,” Proc. IEEE, sayı. 61, sayfa. 692–702, 1973.
- [2] ROWLAND S. W., “Computer implementation of image reconstruction formulas,” in Image Reconstruction from Projections: Implementation and Applications, sayfa. 9–70, Berlin,1979
- [3] FAİRES J. D. ve BURDEN R. L., Numerical Methods. Boston,1993
- [4] HOU H. S.ve ANDREWS H. C., “Cubic splines for image interpolation and digital filtering,” IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-26, no. 6, sayfa. 508–517, 1978.
- [5] KEYS R. G., “Cubic convolution interpolation for digital image processing,” IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-29, no. 6, sayfa. 1153–1160, 1981.
- [6] MAELAND E., “On the comparison of interpolation methods,” IEEE Trans. Med. Imag., sayı. MI-7, sayfa. 213–217, 1988.
- [7] PARKER J. A., R. V. KENYON, “Comparison of interpolating methods for image resampling,” IEEE Trans. Med. Imag., sayı. MI-2, sayfa 31–39, 1983.
- [8] DANİELSSON P. E., HAMMERİN M “High accuracy rotation of images,” Elektrik Mühendisliği Bölümü, Linköping Üniversitesi, İsveç, Teknik. Yay. LiTH-ISY-I-11521990.
- [9] DANİELSSO P. E., HAMMERİN M., “Note: High accuracy rotation of images,” CVGIP: Graph. Models Image Processing, sayı. 54, sayfa. 340–344, 1992.

- [10] UNSER M, ALDROUBI A, EDEN M, “Fast B-splines transforms for continuous image representation and interpolation,” IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., sayı. 13, sayfa. 277–285, 1991.
- [11] DODGSON N. A, “Quadratic interpolation for image resampling,” IEEE Trans. Image Processing, sayı. 6, sayfa. 1322–1326, 1997.
- [12] SCHAUM A, “Theory and design of local interpolators,” CVGIP: Graph. Models Image Processing, sayı. 55, sayfa. 464–481, 1993.
- [13] WOLBERG G, Digital Image Warping. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 1990.
- [14] UNSER M, THEVENAZ P, YAROSLAVSKY L, “Convolution-based interpolation for fast, high-quality rotation of images,”
- [15] HARRIS J., “On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier-transform,” Proc. IEEE, sayı. 66, sayfa. 51–83, 1978.
- [16] CARRATO S, RAMPONİ G, MARSÌ S. “A simple edge-sensitive image interpolation filter” IEEE 0-7803-3258-X/96/ 1996
- [17] THURNHOFER S, MİTRA S, “Edge-enhanced image zooming,” Opt. Eng., sayı. 35, sayfa. 1862–1870, 1996.
- [18] HWANG J. W. Ve LEE H. S. “Adaptive Image Interpolation Based on Local Gradient Features” IEEE signal processing letters, sayı. 11, 20
- [19] <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/image-interpolation.htm>
- [20] LEHMANN T. M., Gonner C., Spitzer K., Survey: Interpolation Methods in Medical Image Processing IEEE 0278–0062/99 Kasım 1999
- [21] APPLIEDORN C. R., A new approach to the interpolation of sampled data, IEEE Trans. Med. Image., sayı. 15, sayfa. 369–376, 1996.
- [22] KARA F. VURAL C., A blind image super resolution algorithm for pure translational motion., EUSIPCO 2006, Eylül 2006.



## ÖZGEÇMİŞ

Emre Kara, 18 Nisan 1981 tarihinde Manisa'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Manisa'da tamamladı. 1999 tarihinde kazandığı Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünden 2003 yılında mezun oldu. 1 sene bir donanım firmasında, 1,5 sene de Profilo-Telra firmasında AR-GE mühendisi olarak çalıştı. Halen TUBITAK Marmara Araştırma Merkezinde araştırmacı olarak görevini sürdürmektedir. Evlidir.