



# **FPGA TABANLI VIDEO GÖRÜNTÜ ÇERÇEVELERİNİ İYİLEŞTİRME CİHAZI GELİŞTİRİLMESİ**

## **DEVELOPMENT OF AN FPGA BASED VIDEO IMAGE FRAME ENHANCEMENT DEVICE**

**CAN UĞUR OFLAMAZ**

**Yrd. Doç. Dr. UMUT SEZEN**  
**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
olarak hazırlanmıştır.

2013

**CAN UĞUR OFLAMAZ**'ın hazırladığı "**FPGA Tabanlı Video Görüntü Çerçevesini İyileştirme Cihazı Geliştirilmesi**" adlı bu çalışma aşağıdaki jürü tarafından **ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Prof. Dr. Selçuk Geçim

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Umut Sezen

Üye

Doç. Dr. Ali Ziya Alkar

Üye

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Demirer

Üye

Yrd. Doç. Dr. Kayhan İmre

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*canım aileme...*

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

30/07/2013

Can Uğur Oflamaz

## ÖZET

# FPGA TABANLI VİDEO GÖRÜNTÜ ÇERÇEVELERİNİ İYİLEŞTİRME CİHAZI GELİŞTİRİLMESİ

**CAN UĞUR OFLAMAZ**

**Yüksek Lisans, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. UMUT SEZEN**

**Ağustos 2013, 71 sayfa**

Bu tezde kameradan alınan video çerçevelerinin gerçek zamanlı olarak iyileştirilerek ekrana verilmesini sağlayan donanım ve yazılımın tasarlanması amaçlanmıştır. Bu yapının gerçekleştirilmesi için esas olarak donanım kısmında, paralel işlem yapabilme yeteneğine sahip FPGA işlem birimi, yazılım kısmında ise süperçözünürlük yöntemi kullanılmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarında süperçözünürlük yönteminin alt birimleri olan hareket kestirimi ve yeniden yapılandırma kısımları için çözüm yolu oluşturulmuştur. Hareket kestirimi kısmı için öbek eşleme yönteminin bir uygulaması olan integral ile izdüşüm yaklaşımı kullanılmıştır. Yeniden yapılandırma kısmı için ise aradeğerleme ile birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Belirlenen bu çözüm yolu FPGA içerisinde gerçek zamanlı işlem yapacak şekilde VHDL programlama dili kullanılarak tekrardan oluşturulmuştur. Sonrasında ise test amaçlı olarak her iki yazılımın da giriş kısmına aynı resim çerçeveleri verilerek çıkış çerçeveleri gözlenmiştir. Her iki yazılımın da aynı çıktıyı verdiği görülmüştür. Son olarak da başarımlarının belirlenmesi için benzetim çalışmaları yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Oluşturulan çözüm yolunun başarımlarının girişteki resim çerçevelerinin tüm SNR değerlerinde ve çerçevelerin bulanıklık içermesi

durumunda çiftdoğrusal aradeğerlemeye göre çok daha yüksek olduğu yönünde sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Süperçözünürlük, FPGA, gerçek zaman, VHDL, öbek eşleme, yeniden yapılandırma, aradeğerleme, SNR

## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF AN FPGA BASED VIDEO IMAGE FRAME ENHANCEMENT DEVICE**

**CAN UĞUR OFLAMAZ**

**Master of Science, Department of Electrical and Electronics  
Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. UMUT SEZEN**

**August 2013, 71 pages**

This dissertation aims to design hardware and software that ensure to restore and transmit the video frames in real time from the camera to the screen. Basically, a FPGA processing unit with the ability to perform parallel processing was used in the hardware, and the superresolution method in the software, in order to achieve this structure. In the simulation studies, an algorithm was created for motion estimation and reconstruction parts, which are the sub-units of the superresolution method. Integral projection model approach, which is the application of block matching algorithm, was used for the part of motion estimation. For the part of reconstruction, fusion of interpolation was used. The specified algorithm was created again using VHDL programming language so as to perform real time processing within the FPGA. Afterwards, the output frames were observed, transmitting the same picture frames to the input of each software, for testing purposes. This is observed that each software provided the same output. Finally, simulation studies were carried out to determine the performance rates and the obtained results were evaluated. It was concluded that the performance rate of the



generated algorithm was much higher than the bilinear interpolation in the event that the input picture frames contain turbidity in all SNR values.

**Keywords:** Superresolution, FPGA, real time, VHDL, block matching, reconstruction, interpolation, SNR

## TEŞEKKÜR

Bu tezin oluŐturulmasında sağladığı katkılardan ötürü tez danıŐmanım Yrd. Doç. Dr. Umut Sezen'e teŐekkürlerimi sunuyorum.

Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, tez süresince bana destek olan arkadaşlarıma, işyerindeki yöneticilerime ve Aselsan A.Ő.'ne sonsuz teŐekkürler.

# İÇİNDEKİLER

ETİK .....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLER .....	x
ÇİZELGELER .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
2. SÜPERÇÖZÜNÜRLÜK .....	3
2.1 Düşük Çözünürlüklü Resimlerin Modellenmesi .....	3
2.2 Süperçözünürlük Yöntemleri .....	5
2.2.1 Tek Çerçeve Üzerinden Süperçözünürlük .....	6
2.2.1.1 En Yakın Komşuluk ile Aradeğerleme .....	7
2.2.1.2 Çiftdoğrusal Aradeğerleme .....	7
2.2.2 Çoklu Çerçeve Üzerinden Süperçözünürlük .....	9
2.2.3 Hareket Kestirimi .....	11
2.2.3.1 Piksel Tabanlı Yöntem .....	12
2.2.3.2 Frekans Alanında Hareket Kestirimi .....	12
2.2.3.3 Optik Akış Eşitliği Kullanılarak Hareket Kestirimi .....	13
2.2.3.4 Bayes Yöntemi ile Hareket Kestirimi .....	15
2.2.3.5 Öbek Eşleme ile Hareket Kestirimi Yöntemi .....	17
2.2.4 Yeniden Yapılandırma .....	19
2.2.4.1 Frekans Alanında Tanımlanan Süperçözünürlük Yöntemleri .....	19
2.2.4.2 Uzamsal Alanlarda Tanımlanan Süperçözünürlük Yöntemleri .....	22

2.2.4.2.1	Aradeğerleme ile Birleştirme Yöntemi.....	22
2.2.4.2.2	Doğrusal Olmayan Aradeğerleme Yaklaşımı .....	23
2.2.4.2.3	Olasılıksal Yaklaşım.....	25
2.2.4.2.4	Dışbükey Kümeler Üzerine İzdüşüm Yaklaşımı .....	26
2.2.4.2.5	Döngüsel geri yansıtma yaklaşımı .....	27
2.2.4.2.6	Uyarlanabilir Süzme Yaklaşımı .....	28
3.	BENZETİM ÇALIŞMALARI .....	30
3.1	Uygulamada Kullanılacak Süperçözünürlük Yönteminin Belirlenmesi....	30
3.2	Belirlenen Yöntem Üzerinden Çözüm Yolu Oluşturulması .....	31
3.2.1	İntegral İle İzdüşüm Yaklaşımı.....	32
3.2.2	Aradeğerleme ile Birleştirme Yöntemi.....	35
3.3	Başarım Ölçümleri.....	35
3.3.1	Öbek Eşleme Yöntemlerinin Başarım Ölçümü.....	35
3.3.2	Uygulamada Kullanılan Yöntemin Başarım Ölçümü .....	37
3.3.3	Düşük Çözünürlüklü Çerçeve Sayısının Belirlenmesi .....	44
3.3.4	Öbek Boyutunun Belirlenmesi.....	45
3.4	FPGA Yazılımının Test Edilmesi.....	46
3.5	Oluşturulan Çözüm Yolu Kullanılarak Yapılan Süperçözünürlük Uygulamaları .....	47
4.	UYGULAMANIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ .....	50
4.1	Donanımın Oluşturulması .....	50
4.1.1	Seçilen Altyapıda Kullanılan Alt Birimler .....	50
4.1.1.1	Giriş Birimi .....	52
4.1.1.2	Video İşleme Birimi.....	54
4.1.1.3	Çıkış Birimi .....	54
4.2	Yazılımın Oluşturulması .....	56

4.2.1	Hareket Kestirimi .....	58
4.2.2	Yeniden Yapılandırma .....	60
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
5.1	Sonuçlar.....	64
5.2	Öneriler .....	64
	KAYNAKLAR.....	66
	EKLER .....	68
	ÖZGEÇMİŞ .....	71

## ŞEKİLLER

Şekil 1: Düşük çözünürlüklü resimlerin elde edilmesi ve alt piksel hassasiyetinde yerleşimi [2] .....	3
Şekil 2: Görüntüleme sistemlerinde oluşan etkiler ve resim oluşumu [2] .....	4
Şekil 3: Görüntüleme elemanlarının etkisiyle düşük çözünürlüklü resimlerin modellenmesi [2] .....	5
Şekil 4: a) Çoklu çerçeve üzerinden süperçözünürlük, b) Tek çerçeve üzerindeki çoklu yapı kullanılarak gerçekleştirilen süperçözünürlük [15] .....	6
Şekil 5: En yakın komşuluk ile aradeğerleme .....	7
Şekil 6: Çiftdoğrusal aradeğerleme ile piksel değerinin hesaplanması .....	8
Şekil 7: Çiftdoğrusal aradeğerleme .....	9
Şekil 8: Çoklu çerçeve üzerinden gerçekleştirilen süperçözünürlük yöntemi .....	10
Şekil 9: Hareket kestirimi ve yeniden yapılandırma ile yüksek çözünürlüklü resim oluşturma [2] .....	11
Şekil 10: Kısıtlama eşitliği ve dikey hız .....	14
Şekil 11: Öbek eşleme yönteminin gösterimi .....	17
Şekil 12: Arama yapılacak olan menzilin ve öbek boyutlarının gösterimi .....	19
Şekil 13: Yüksek çözünürlüklü resim ile düşük çözünürlüklü resim arasındaki örtüşme ilişkisi [2] .....	20
Şekil 14: Aradeğerleme ile birleştirme yöntemi .....	23
Şekil 15: Doğrusal olmayan aradeğerleme yaklaşımı uygulaması a) En yakın komşuluk ile aradeğerleme, b) Çiftdoğrusal aradeğerleme, c) Dört adet düşük çözünürlüklü resim kullanarak doğrusal olmayan aradeğerleme, d) c)'de elde edilen çıktının bulanıklığının giderilmesi [2] .....	24
Şekil 16: Döngüsel geri yansıtma yaklaşımı [2] .....	28
Şekil 17: Tümünden hareket kestirimi yapılacak resim çerçeveleri ve öbek eşlemenin gösterimi .....	33
Şekil 18: Evler ve çiçekler .....	36

Şekil 19: 1B ve 2B'de hatalı kestirim sayıları.....	37
Şekil 20: Bina ve önündeki iskele.....	38
Şekil 21: YÇ resim çerçevelerinden DÇ resimlerin elde edilmesi .....	39
Şekil 22: Oluşturulan çözüm yolu ve çiftdoğrusal aradeğerleme yönteminin farklı SNR değerlerindeki başarımlar ölçümü.....	41
Şekil 23: Bina ve önündeki iskele (a) Gerçek resim, (b) Düşük çözünürlüklü resimden oluşturulan en yakın komşuluk ile aradeğerleme, (c) Çiftdoğrusal aradeğerleme, (d) Oluşturulan çözüm yolu.....	42
Şekil 24: Oluşturulan çözüm yolu ve çiftdoğrusal aradeğerleme yönteminin farklı SNR değerlerinde ve bulanıklık eklenerek yapılan başarımlar ölçümü.....	43
Şekil 25: Evler ve çiçekler (a) Gerçek resim, (b) Düşük çözünürlüklü resimden oluşturulan en yakın komşuluk ile aradeğerleme, (c) Çiftdoğrusal aradeğerleme, (d) Oluşturulan çözüm yolu.....	44
Şekil 26: Çözüm yolunda kullanılması en uygun çerçeve sayısının belirlenmesi .	45
Şekil 27: Öbek eşleme yönteminde kullanılacak öbek boyutunun belirlenmesi....	46
Şekil 28: (a) Düşük çözünürlüklü resimden oluşturulan en yakın komşuluk ile aradeğerleme, (b) Çiftdoğrusal aradeğerleme, (c) Oluşturulan çözüm yolu .....	47
Şekil 29: (a) Düşük çözünürlüklü resimden oluşturulan en yakın komşuluk ile aradeğerleme, (b) Çiftdoğrusal aradeğerleme, (c) Oluşturulan çözüm yolu .....	48
Şekil 30: (a) Düşük çözünürlüklü resimden oluşturulan en yakın komşuluk ile aradeğerleme, (b) Çiftdoğrusal aradeğerleme, (c) Oluşturulan çözüm yolu .....	49
Şekil 31: Kullanılan düzener ve bağlantıları.....	51
Şekil 32: Giriş, video işleme ve çıkış birimleri.....	52
Şekil 33: VGA kamera birimi.....	52
Şekil 34: Çerçeve boyutlarının belirlenmesi .....	53
Şekil 35: Çerçeve bilgilerinin dizi halinde gösterimi .....	53
Şekil 36: Düşük çözünürlüklü çerçeveden yüksek çözünürlüklü çerçeve elde edilmesi.....	56

Şekil 37: FPGA yazılımının alt bölümleri .....	58
Şekil 38: Hareket kestirimi .....	60
Şekil 39: Ardışık 4 adet DÇ video çerçevelerinden ardışık YÇ video çerçevelerinin oluşturulması .....	61
Şekil 40: Yeniden Yapılandırma .....	63



## ÇİZELGELER

Çizelge 1: Uygulamada kullanılan değerler .....	39
Çizelge 2: FPGA'in kaynak kullanım miktarları .....	57

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\sigma^2$	Variance
$\nabla$	Gradyant

### Kısaltmalar

B	Boyut	Dimension
CCD	Yükten Bağlaşimli Aygıt	Charge-Coupled Device
CFT	Sürekli Fourier Dönüşümü	Continuous Fourier Transform
CMOS	Tamamlayıcı Metal-Oksit Yarı İletken	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CT	Bilgisayarlı Tomografi	Computerized Tomography
dB	Desibel	Decibel
DÇ	Düşük Çözünürlüklü	Low Resolution
DFT	Ayrık Fourier Dönüşümü	Discrete Fourier Transform
DVI	Sayısal Görsel Arayüz	Digital Visual Interface
FIFO	İlk Giren İlk Çıkar	First In First Out
FPGA	Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi	Field Programmable Gate Array
HDL	Donanım Tanımlama Dili	Hardware Description Language
HDTV	Yüksek Çözünürlüklü Televizyon	High Definition Television
I2C	Tümleşik Devreler Arası Haberleşme	Inter Integrated Circuit

MAD	Ortalama Mutlak Uzaklık	Mean Absolute Distance
MAE	Ortalama Mutlak Hata	Mean Absolute Error
MAP	En Büyük Sonsal	Maximum a Posteriori
MISO	Çok Giriş Tek Çıkış	Multiple Input Single Output
ML	En Büyük Olabilirlik	Maximum Likelihood
MRI	Manyetik Rezonans Görüntülemesi	Magnetic Resonance Imaging
MSE	Ortalama Karesel Hata	Mean Square Error
NTSC	Ulusal Televizyon Standartları Komitesi	National Television System Committee
PET	Pozitron Yayıncı Tomografi	Positron Emission Tomography
PSNR	Doruk Sinyal Gürültü Oranı	Peak Signal to Noise Ratio
RAM	Rastlantısal Erişim Hafızası	Random Access Memory
RGB	Kırmızı Yeşil Mavi	Red Green Blue
SAD	Mutlak Farkların Toplamı	Sum of Absolute Differences
SATD	Dönüştürülmüş Mutlak Farkların Toplamı	Sum of Absolute Transformed Differences
SNR	İşaret Gürültü Oranı	Signal to Noise Ratio
SSE	Karesi Alınmış Hataların Toplamı	Sum of Squared Errors
VGA	Çizgesel Video Dizisi	Video Graphics Array
VHDL	Çok Yüksek Hızlı Tümlleşik Devrelerin Donanım Tanımlama Dili	VHSIC Hardware Description Language
XGA	Genişletilmiş Çizge Dizisi	Extended Graphics Array

YÇ	Yüksek Çözünürlüklü	High Resolution
DPI	Birim Uzunluktaki Nokta Sayısı	Dot Per Inch
TV	Tam değişim	Total Variation
GMRF	Normal dağılımlı rastgele alan	Gaussian Random Field
RLS	Yinelemeli En Küçük Kareler	Recursive least squares
R-LMS	Yinelemeli Karelerin Ortalamasının En Küçüğü	Recursive Least Mean Square
LS	En Küçük Kareler	Least Squares
SD	En Dik İniş	Steepest Descent
DSP	Sayısal İşaret İşleme	Digital Signal Processing

# 1. GİRİŞ

Geçtiğimiz yıllarda sayısal kamera ve fotoğraf makineleri çok hızlı bir evrim geçirmiştir. CCD ve CMOS görüntü sensörlerindeki piksel sayısı 1993 senesinde 0.3 Megapiksel civarında iken günümüzde 70 Megapiksel seviyelerine kadar yükselmiştir. Teknolojik gelişmeler ile birlikte her geçen gün, elde edilen görüntülerdeki detayları netleştirme ihtiyacının artması ve bunun sonucu yüksek çözünürlüklü (YÇ) sistemlere gidilmesi bunun sebebi olarak düşünülebilir [1].

Çözünürlük yazıcılarda birim uzunluktaki nokta sayısı (DPI) olarak ifade edilmektedir. Görüntü algılayıcısından elde edilen resim veya videolarda ise farklı büyüklükteki görüntüleme cihazları kullanılabileceği için birim uzunluktaki piksel sayısı yerine yatay ve dikey piksel sayıları veya toplam piksel sayısı kullanılmaktadır. Örnek olarak bir resmin çözünürlüğü 640x480 piksel olarak gösterilebildiği gibi 0.3 Megapiksel olarak da ifade edilebilmektedir.

Bir resmin yüksek çözünürlüklü olması ise içerisindeki piksel yoğunluğunun fazla olması veya daha fazla piksel ile ifade edilmesi anlamına gelmektedir. Buna bağlı olarak yüksek çözünürlüklü resim bize daha fazla detay sunmaktadır ve pek çok uygulamada da bu durum kritiklik arz etmektedir. Örneğin yüksek çözünürlüklü tıbbi görüntüler doktorların doğru teşhis yapabilmesi için oldukça yararlıdır, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri benzer nesnelere daha iyi ayırt etmemizi sağlamaktadır [2].

Her ne kadar teknoloji ilerlese de bazı donanımsal faktörler sınırları belirleyici rol oynamaktadır. Temel olarak günümüzde kullanılan dijital kameraların çözünürlüğünün optik lens ve görüntü sensörü tarafından sınırlandırıldığı söylenebilir. Bu limit ancak birkaç düşük çözünürlüklü (DÇ) resimden yüksek çözünürlüklü resim elde edilerek aşılabilir. Süperçözünürlük tekniğinin altında yatan temel düşünce budur [3][1].

Süperçözünürlük tekniği ile görüntü kalitesinin netleşmesinin nedeni kullanılan resimler arasında alt piksel hareketlerinin bulunmasıdır. Her düşük çözünürlüklü resim görüntü hakkında yeni bilgiler içermektedir ve süperçözünürlüğün amacı da bu bilgileri sentezleyerek yüksek çözünürlüklü bir resim oluşturmaktır. Bu sayede hem donanım sınırlarının ötesine geçilerek görüntüleme kabiliyeti

geliştirilebilecektir hem de düşük çözünürlüklü mevcut alt yapı korunarak ek bir donanım maliyeti oluşmayacaktır [4] [2].

Örnek olarak dört megapiksel fotoğraf makinesi olan bir kullanıcı aynı görüntüden dört adet resim çekerek teorik olarak 16 megapiksel resim elde edebilecektir. Ama pratikte bu kadar basit olmamaktadır [4].

Süperçözünürlük yönteminde iki ana problem bulunmaktadır. İlk olarak tüm girdi resimlerinin ortak şablona doğru bir şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Sonrasında ise toplanan bilgilerden yeniden düzgün ve net bir görüntü oluşturulmalıdır [4].

Hemen hemen tüm süperçözünürlük algoritmaları tek renkli veya siyah-beyaz resimlerin çözünürlüğünü artırmak için tasarlanmıştır. Renkli görüntüler için süperçözünürlük tekniği ise aynı şekilde fakat tüm renk kanalları için ayrı ayrı uygulanarak veya görüntüyü farklı renk uzayına dönüştürüp sonrasında sadece tek bir kanal üzerinden işlem yapılarak süperçözünürlük uygulanabilir [3].

Süperçözünürlük yönteminin kullanım alanları gözetleme ve tarama sistemleri, uydu, tıbbi görüntüleme cihazları (CT, MRI, PET, Ultrasound vb.), video formatları arasındaki çevirmelerde (NTSC'den HDTV'ye çevirme), astronomik görüntüleme şeklinde özetlenebilir [5][1][6].

Tez kapsamında ikinci bölümde öncelikle süperçözünürlük konusu incelenecektir. Bu bölümde literatürdeki yöntemler hakkında genel bilgiler verilecektir. Bu yöntemlerin kullanım gereksinimlerine, avantaj ve dezavantajlarına değinilecektir.

Üçüncü bölümde, gerçekleştirilen uygulamada kullanılan çözüm yolunun benzetim programında ve Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi (FPGA) üzerinde yapılan benzetim çalışmaları verilecektir.

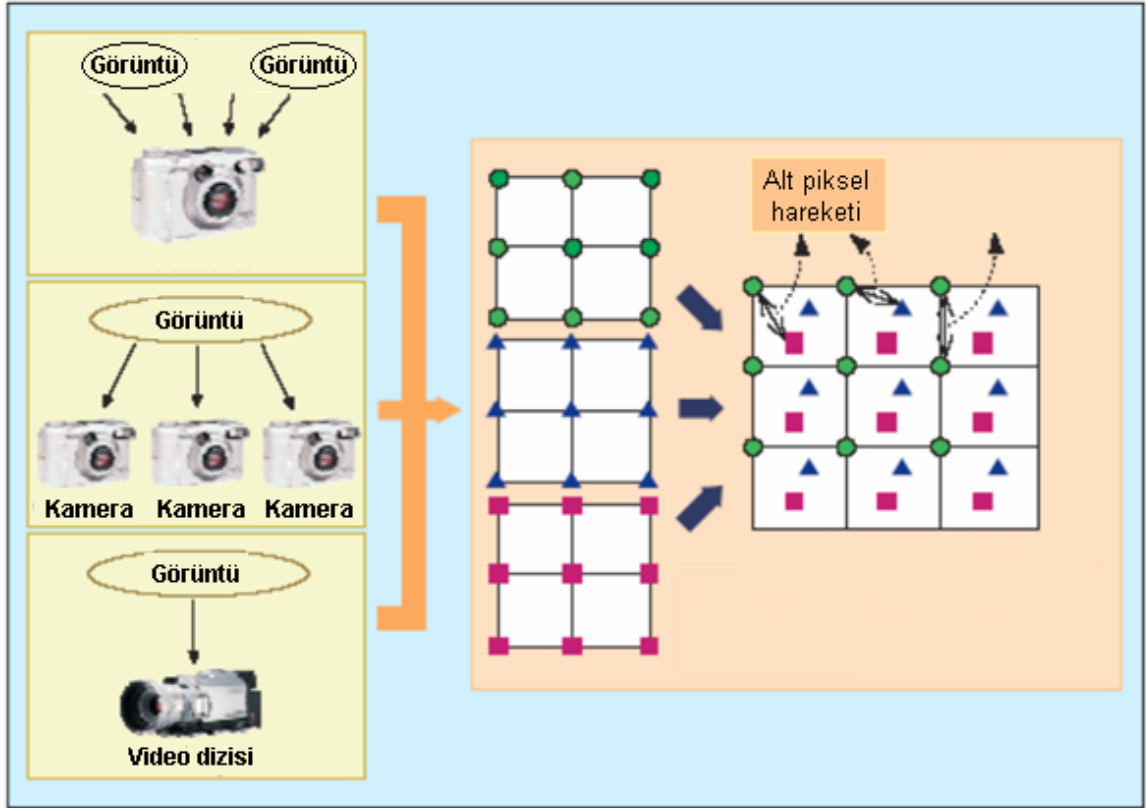
Dördüncü bölümde süperçözünürlük yönteminin uygulanmasında kullanılacak olan alt yapının kabiliyeti ve özellikleri incelenecektir. Oluşturulan donanım ve yazılım ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

Beşinci ve son bölümde yapılan çalışma sonucu oluşturulan çözüm yolunun başarımlarının ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılarak, gelecekte yapılabilecek çalışmalar için öneriler verilecektir.

## 2. SÜPERÇÖZÜNÜRLÜK

### 2.1 Düşük Çözünürlüklü Resimlerin Modellenmesi

Burada canlı bir görüntüden elde edilen düşük çözünürlüklü resim çerçevelerinin elde edilmesi söz konusudur. Süperçözünürlük yönteminde kullanılan bu düşük çözünürlüklü resimler bir ya da daha fazla sayıda fotoğraf makinesinden alınabilir veya kameraya çekilen video çerçevelerinden elde edilebilir [1]. Şekil 1’de görüntüden elde edilen resim çerçevelerinin elde edilmiş yöntemleri ve çerçeveleri arasındaki alt piksel hareketleri görülmektedir.



Şekil 1: Düşük çözünürlüklü resimlerin elde edilmesi ve alt piksel hassasiyetinde yerleşimi [2]

Oluşturulmak istenen yüksek çözünürlüklü resim parametreleri

$$\text{Ölçüler: } L_1 N_1 \times L_2 N_2$$

Oluşturulan vektör:  $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$   $N = L_1 N_1 \times L_2 N_2$

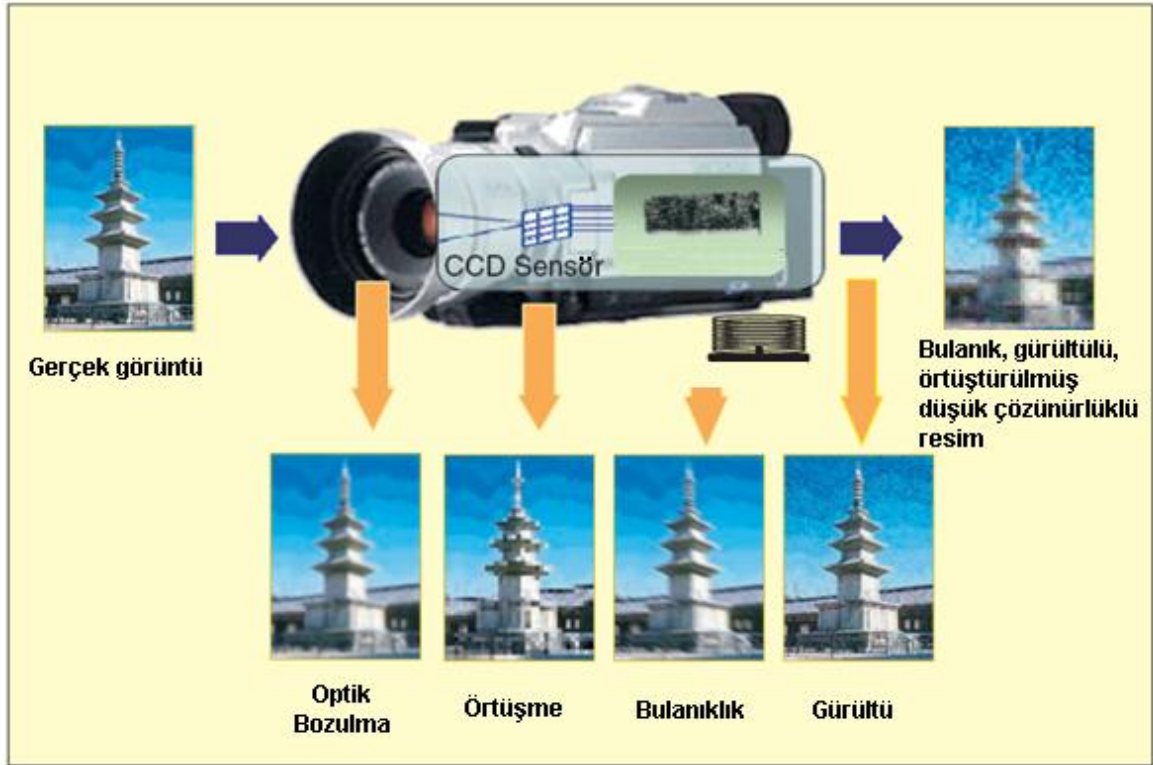
$L_1$  ve  $L_2$  katsayıları sırasıyla dikeyde ve yatayda çözünürlüğün kaç kat düşürüleceğini, T ise devrik vektör olduğunu belirtmektedir.

Düşük çözünürlüklü resim parametreleri

Ölçüler:  $N_1 \times N_2$

Kullanılacak resimler:  $\mathbf{y}_k = [y_{k,1}, y_{k,2}, \dots, y_{k,M}]^T$

$k = 1, 2, \dots, p$  ve  $M = N_1 \times N_2$



Şekil 2: Görüntüleme sistemlerinde oluşan etkiler ve resim oluşumu [2]

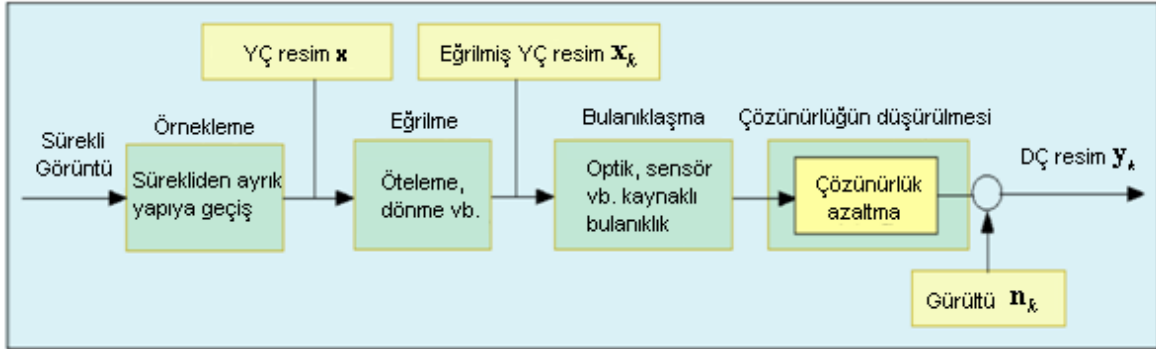
Elde edilen düşük çözünürlükteki resimler yüksek çözünürlüklü resim üzerinde oluşan eğrilme, bulanıklaşma, çözünürlük düşümü ve gürültü eklenmesi şeklinde modellenebilir.



Oluşan düşük çözünürlüklü resim:

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{D}\mathbf{B}_k\mathbf{M}_k\mathbf{x} + \mathbf{n}_k, \quad 1 \leq k \leq p \quad (2.1)$$

Burada  $\mathbf{M}_k$  eğrilme matrisini,  $\mathbf{B}_k$  bulanıklaşma matrisini,  $\mathbf{D}$  çözünürlük düşürme matrisini ve  $\mathbf{n}_k$  gürültü vektörünü belirtir.



Şekil 3: Görüntüleme elemanlarının etkisiyle düşük çözünürlüklü resimlerin modellenmesi [2]

Genelleştirilmiş şekli ile düşük çözünürlüklü resim aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{W}_k\mathbf{x} + \mathbf{n}_k, \quad 1 \leq k \leq p \quad (2.2)$$

Eğer elimizde yeterli miktarda düşük çözünürlüklü resim varsa yukarıdaki denklemi çözerek yüksek çözünürlüklü resmi elde edebiliriz [5][7][2][8].

## 2.2 Süperçözünürlük Yöntemleri

Süperçözünürlük teknikleri genel olarak tek çerçeve ve çoklu çerçeve üzerinden süperçözünürlük olarak ikiye ayrılmaktadır [9].

Tek bir görüntünün alınabildiği veya yeterli olduğu sistemlerde tek çerçeve üzerinden, video çekimi gibi aynı görüntünün ardışık resimlerinin çekildiği ve daha fazla detay istenen sistemlerde çoklu çerçeve üzerinden süperçözünürlük tekniği uygulanmaktadır [2].

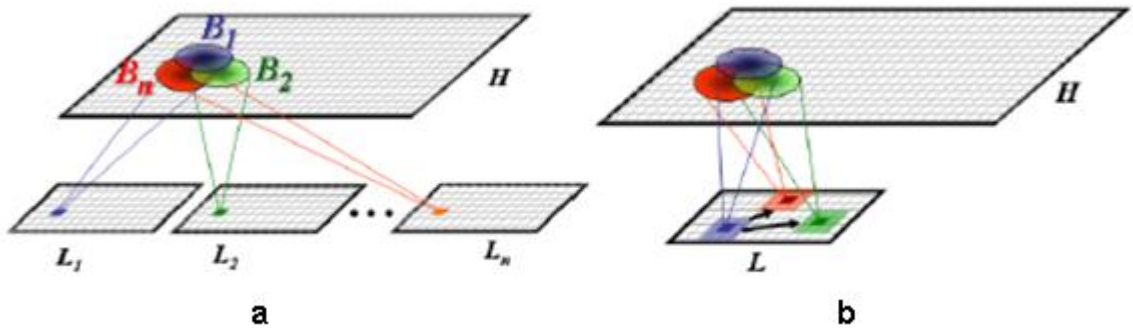
## 2.2.1 Tek Çerçeve Üzerinden Süperçözünürlük

Tek bir çerçeve üzerine aşağıdaki yöntemler uygulanarak görüntü iyileştirilebilmektedir [10]:

- Çeşitli filtreler(Gauss, Wiener ve Ortanca filtreleri) kullanarak görüntüyü düzgünleştirmek
- Aradeğerleme yöntemi uygulamak(En yakın komşuluk, Çiftdoğrusal, Çift kübik ve kübik şerit v.b.)
- Görüntü detaylarını artırarak daha keskin hale getirmek

Bunların yanında son yıllarda örnekleme dayalı süperçözünürlük yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu yaklaşımda, öncelikle düşük ve yüksek çözünürlüklü resimlerin bulunduğu bir veritabanından düşük çözünürlüklü resimler ile yüksek çözünürlüklü resimler arasındaki ilinti öğrenilir. Bu öğrenilen bilgi, elde ettiğimiz yeni bir düşük çözünürlüklü resim üzerinde kullanılarak olası muhtemel yüksek çözünürlüklü resim elde edilebilmektedir [14].

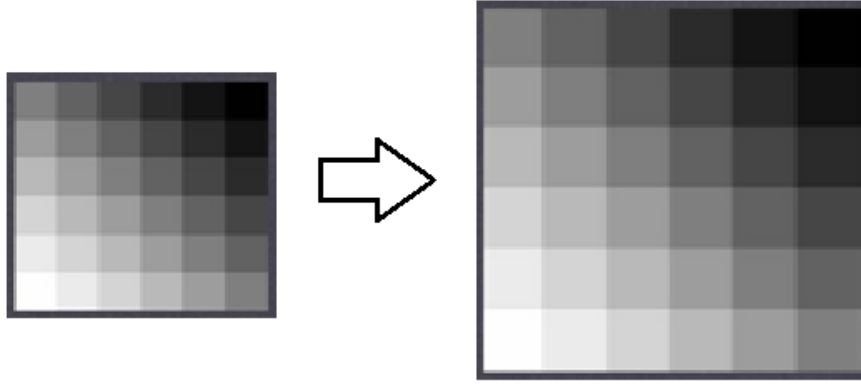
Ek olarak bir yaklaşım da örnekleme dayalı süperçözünürlük ile çoklu çerçeve üzerinden süperçözünürlük yöntemini birleştiren bir yaklaşım ortaya koymuştur. Burada tek bir resim içerisindeki benzer yapılar farklı resimlerden alınmış gibi işlenerek süperçözünürlük gerçekleştirilmektedir [15]. Bu yöntem Şekil 4'ün "b" kısmında bulunan resimde görsel olarak anlatılmaktadır.



Şekil 4: a) Çoklu çerçeve üzerinden süperçözünürlük, b) Tek çerçeve üzerindeki çoklu yapı kullanılarak gerçekleştirilen süperçözünürlük [15]

### 2.2.1.1 En Yakın Komşuluk ile Aradeğerleme

En yakın komşuluk yöntemi en az işlem yükü gerektiren aradeğerleme yöntemidir. Bu yöntem sadece aradeğerleme yapılacak olan noktaya en yakın olan pikseli kullanmaktadır. YÇ resimdeki bir piksel DÇ resimdeki en yakın pikselin renk değerini almaktadır. Bu şekilde her pikselin daha büyük olarak görüldüğü YÇ resim elde edilmektedir [16]. Şekil 5'te DÇ resim ile en yakın komşuluk ile aradeğerleme yöntemi kullanılarak elde edilen YÇ resim görülmektedir.



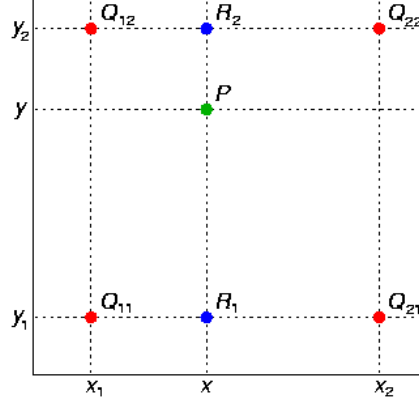
Şekil 5: En yakın komşuluk ile aradeğerleme

### 2.2.1.2 Çiftdoğrusal Aradeğerleme

Çiftdoğrusal aradeğerlemede piksel değeri dört bir yanında bulunan ve DÇ resimden gelen piksel değerlerinden elde edilir. Burada pikseller eşit uzaklıkta olduğu için dört bir yanda bulunan piksel değerleri toplanarak dörde bölünmektedir.

Çiftdoğrusal ifadesi aradeğerleme işleminin yatay ve dikey olarak her iki yönde de yapıldığını belirtmektedir.

Genel bir kullanım olarak Şekil 6'de görüldüğü üzere  $Q_{11}$ ,  $Q_{12}$ ,  $Q_{21}$  ve  $Q_{22}$  noktalarındaki piksel değerlerinin bilindiği durumda  $P$  noktasındaki piksel değeri aşağıdaki yöntem ile hesaplanabilmektedir. Belirli bir noktadaki piksel değeri  $f$  fonksiyonu ile ifade edilmektedir.



Şekil 6: Çiftdoğrusal aradeğerleme ile piksel değerinin hesaplanması

Öncelikle yatay eksende aradeğerleme yapılarak  $R_1$  ve  $R_2$  noktalarındaki piksel değerleri elde edilir.

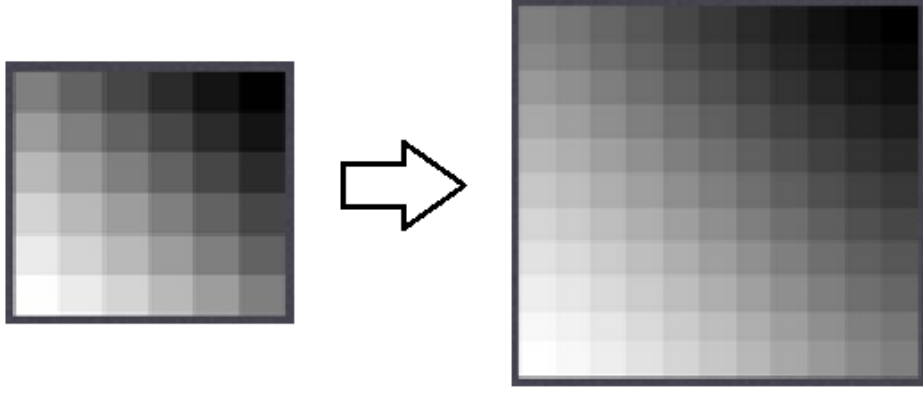
$$f(R_1) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}) \quad (2.3)$$

$$f(R_2) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}) \quad (2.4)$$

Sonrasında ise dikey yönde aradeğerleme yapılarak  $P$  noktasındaki piksel değeri elde edilmiş olur [16].

$$f(P) = \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(R_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(R_2) \quad (2.5)$$

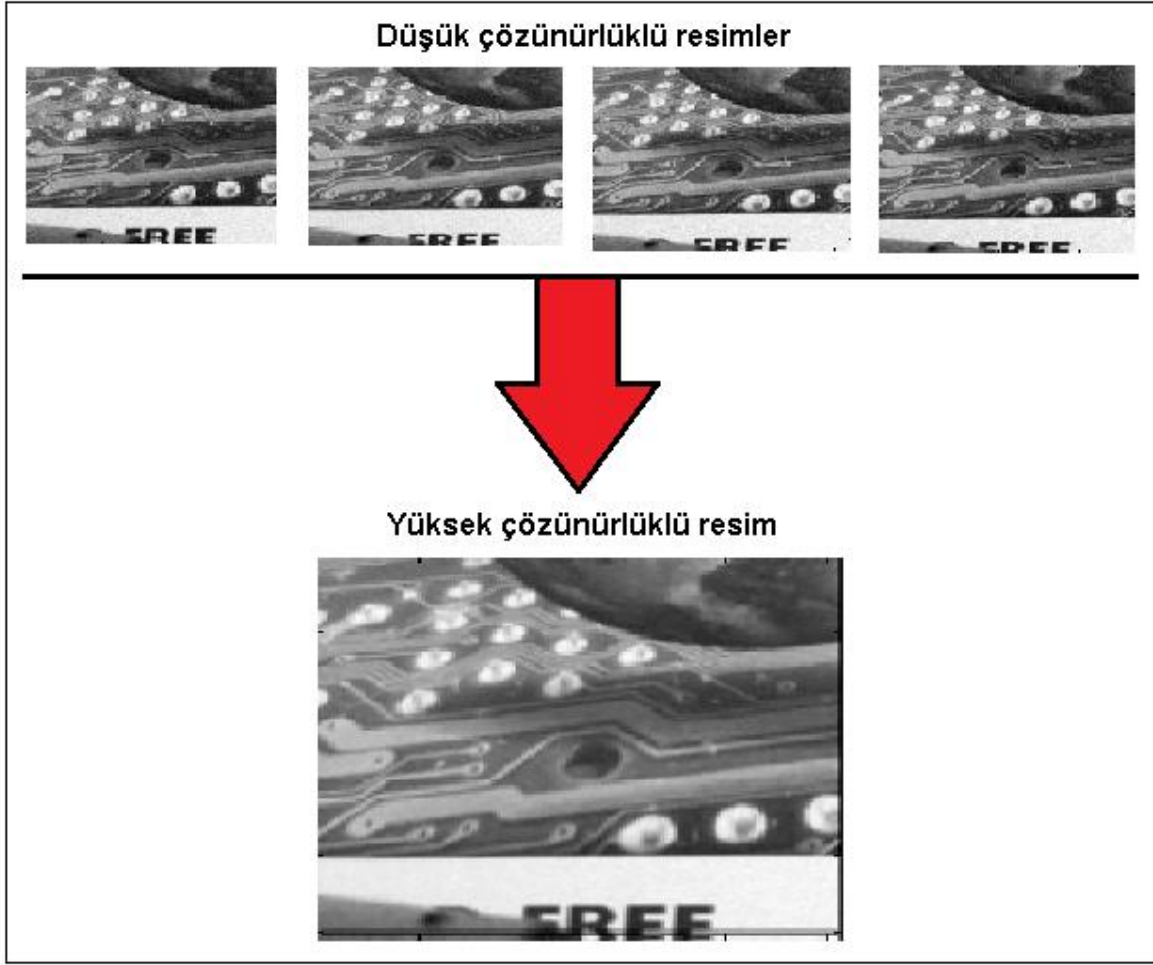
Şekil 7’de DÇ resim ve çiftdoğrusal aradeğerleme yöntemi kullanılarak elde edilen YÇ resim görülmektedir.



Şekil 7: Çiftdoğrusal aradeğerleme

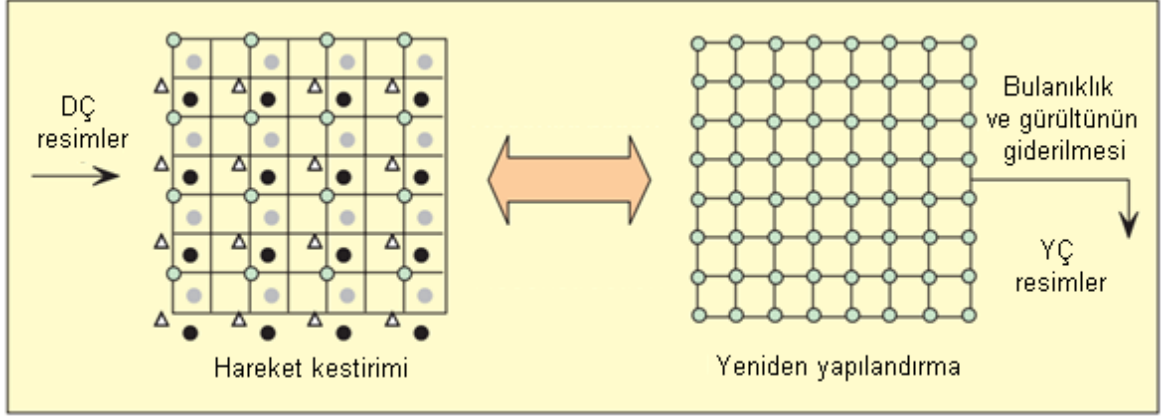
### 2.2.2 Çoklu Çerçeve Üzerinden Süperçözünürlük

Bu tez kapsamında çoklu çerçeveler kullanılarak video görüntülerinin netleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Burada aynı görüntüden elde edilen düşük çözünürlüklü resimler kullanılmaktadır. Bu düşük çözünürlüklü resimler aynı görüntüyü farklı biçimlerde yansıtmaktadır. Çünkü her resim birbirinin alt piksel hassasiyetinde kaymış halidir. Şekil 8'te çoklu çerçeve üzerinden gerçekleştirilen süperçözünürlük yönteminin bir gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 8: Çoklu çerçeve üzerinden gerçekleştirilen süperçözünürlük yöntemi

Süperçözünürlük yöntemleri iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar hareket kestirimi ve yeniden yapılandırma işlemleridir [9]. Elde edilen yüksek çözünürlüklü resmi daha iyi hale getirmek için ek olarak tek çerçeve üzerinden çeşitli filtrelerle bulanıklık ve gürültü giderme işlemleri de yapılabilmektedir.



Şekil 9: Hareket kestirimi ve yeniden yapılandırma ile yüksek çözünürlüklü resim oluşturma [2]

### 2.2.3 Hareket Kestirimi

Video çerçevelerinde temel olarak iki tip hareket çeşidi bulunmaktadır. Bunlar tümden ve bölgesel hareketlerdir. Tümden yapılan hareket çekim esnasında kameranın yaptığı manevra ile oluşmaktadır. Bunun sonucunda alınan video çerçevelerinde dönme hareketi, yatay ve dikey kayma hareketleri oluşmaktadır. Bölgesel hareket ise görüntüdeki nesnelerin yaptığı rastgele hareketlerden kaynaklanmaktadır [9]. Bu bilgiler kullanılarak yapılan hareket kestiriminin amacı da uygulamaya göre tümden veya bölgesel olarak oluşan bu hareketlerin kestirilmesidir.

Süperçözünürlük yöntemlerinde en kritik kısmı hareket kestirimi oluşturmaktadır. Burada referans alınan resme göre aynı görüntüden elde edilmiş diğer resimlerin alt piksel hassasiyetinde kayma miktarları hesaplanmaktadır. Burada yapılan hatalı bir kestirim süperçözünürlüğün başarımını doğrudan düşürecektir.

Hareket kestirimi yöntemleri çok fazla çeşitlilik arz ettiği için burada, süperçözünürlük uygulamalarında kullanılan temel yöntemlerden bahsedilecektir.

### 2.2.3.1 Piksel Tabanlı Yöntem

Burada çapraz ilintileme tekniği temel istatistiksel yaklaşımı oluşturmaktadır. Bu teknik iki resim arasındaki benzerliği ölçmektedir. Bir resim  $I$  diğer resim ise daha küçük boyutlu bir şablon olmak üzere  $T$  şeklinde adlandırılınsın. İki boyutlu çapraz ilintileme her öteleme için bir benzerlik ölçmektedir [17].

$$C(u, v) = \frac{\sum_x \sum_y T(x, y) I(x - u, y - v)}{\left[ \sum_x \sum_y I^2(x - u, y - v) \right]^{1/2}} \quad (2.6)$$

Eğer şablon ile resim bir noktada örtüşürse çapraz ilintileme o  $C(i, j)$  noktasında en tepeye ulaşmaktadır. Bu yöntemin iki adet sakıncası bulunmaktadır: ilki tepe noktasının resmin kendi içerisindeki benzerliğinden ötürü net ayırt edilememesi ikincisi ise yapılan hesaplamaların karmaşık oluşudur [18].

### 2.2.3.2 Frekans Alanında Hareket Kestirimi

İlntileme kuramına göre iki resmin ilintilemesinin Fourier dönüşümü bir resmin Fourier dönüşümü ile diğer resmin Fourier dönüşümünün karmaşık eşleniği ile çarpımına eşittir.  $f(x, y)$  ile gösterilen bir resmin Fourier dönüşümü karmaşık bir fonksiyondur. Her fonksiyon değerinin tüm frekans spektrumunda  $R(w_x, w_y)$  olmak üzere bir gerçel kısmı ve  $I(w_x, w_y)$  şeklinde bir sanal kısmı bulunmaktadır.

$$F(w_x, w_y) = |F(w_x, w_y)| e^{-\varphi(w_x, w_y)} \quad (2.7)$$

Burada  $|F(w_x, w_y)|$  genliği,  $\varphi(w_x, w_y)$  ise faz açısını belirtmektedir.



$$|F(w_x, w_y)|^2 = R^2(w_x, w_y) + I^2(w_x, w_y) \quad (2.8)$$

$$\varphi(w_x, w_y) = \tan^{-1} \left[ \frac{I(w_x, w_y)}{R(w_x, w_y)} \right] \quad (2.9)$$

İki resmin çapraz güç spektrumu şöyle tanımlanmaktadır:

$$F(\varphi_x, \varphi_y) = \frac{F_1(\varphi_x, \varphi_y)F_1^*(\varphi_x, \varphi_y)}{|F_1(\varphi_x, \varphi_y)F_1^*(\varphi_x, \varphi_y)|} \quad (2.10)$$

Kaydırma kuralı çapraz güç spektrumunun fazının resimler arasındaki faz farkına eşit olduğunu bize söyler. Eğer bu güç spektrumunun fazının ters Fourier dönüşümünü alırsak bize bir dürtü fonksiyonu verecektir. Bu fonksiyonda iki resmin kesiştirildiği nokta haricinde diğer her yer yaklaşık olarak sıfır değerindedir. Anlatılan bu yöntem sadece ötelenmiş resimleri örtüştürmek için kullanılmaktadır.

Frekans yönteminin ilintileme yöntemine göre hassasiyeti daha fazladır fakat diğer yöntemlere göre biraz daha düşüktür [18].

### 2.2.3.3 Optik Akış Eşitliği Kullanılarak Hareket Kestirimi

Bu algoritmadaki temel varsayım resim üzerindeki belirli bir bölgede oluşan hareket sonucu, kısa zaman aralığında, renk tonunun yaklaşık olarak sabit kalıyor olmasıdır. Söz konusu varsayım resim üzerindeki renk tonunun fonksiyonu  $I(x, t)$  olmak üzere aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$I(x, t) \approx I(x + \delta x, t + \delta t) \quad (2.11)$$

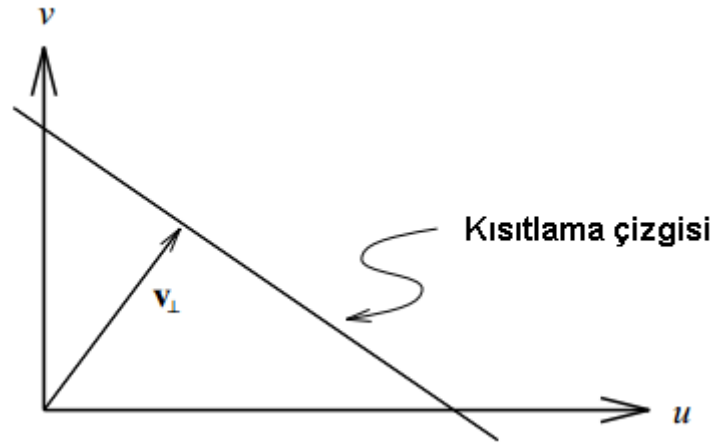
Burada  $\delta x$ , resim üzerindeki bir bölgenin  $(x, t)$  konumunda bulunmasından  $\delta t$  süre sonra oluşan yer değiştirmeyi gösterir. Yukarıdaki eşitliğin sol tarafını Taylor seri açılımı ile genişletecek olursak da aşağıdaki ifadeyi elde ederiz:

$$I(x,t) = I(x,t) + \nabla I \cdot \delta x + \delta t I_t + O^2 \quad (2.12)$$

Burada  $\nabla I = (I_x, I_y)$  ve  $I_t$ ,  $I(x,t)$ 'nin birinci dereceden parçalı türevleridir. Yukarıdaki denklemde ikinci dereceden  $O^2$ , ve daha yüksek dereceden terimler ihmal edilebilir kabul edilmektedir. Her iki taraftan  $I(x,t)$ 'yi çıkartıp,  $O^2$ 'yi ihmal edip ve  $\delta t$ 'ye bölersek aşağıdaki denkleği elde ederiz.

$$\nabla I \cdot \mathbf{v} + I_t = 0 \quad (2.13)$$

Burada  $\nabla I = (I_x, I_y)$  özel renk tonu gradyanı ve  $\mathbf{v} = (u, v)$  ise resmin vektörel hızıdır. Daha açık bir ifadeyle noktasal çarpım  $\nabla I \cdot \mathbf{v} = (I_x, I_y)(u, v)^T$  olarak yazılabilir. Yukarıda belirtilen gradyant eşitliğine optik akış kısıtlama eşitliği denilmektedir. Fakat bu kısıtlama  $\mathbf{v}$ 'nin her iki bileşenini de hesaplamamıza yetmemektedir. Çünkü bu denklemi iki bilinmeyenden oluşan doğrusal bir denklemdir ( $\mathbf{v} = (u, v)$ ). Şekil 10'da kısıtlama çizgisi ve dikey hız görülmektedir.



Şekil 10: Kısıtlama eşitliği ve dikey hız

Bir ileri aşama olarak elde edilmek istenilen, renk tonu fonksiyonunun yerel gradyantının dikey hız vektörü,  $\mathbf{v}_\perp$ , hesaplanmalıdır. Bu işlem açıklık problemi olarak bilinmektedir ve sadece resmin uygun renk tonu yapısı olduğu kısımlarında

hız vektörü, optik akış kısıtlama eşitliği kullanılarak kestirilebilir. Örneğin homojen ya da belli bir dokuya sahip bir yapıda hız vektörü optik olarak hesaplanamamaktadır.

Dikey hız vektörü özel gradyant,  $\nabla I$ , yönünde olduğu için aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

$$\mathbf{v}_{\perp} = \frac{-I_t \nabla I}{\|\nabla I\|_2^2} \quad (2.14)$$

Bu şekilde zamansal ve uzamsal türevlerin ölçümü bize dikey hız vektörünü vermektedir [19].

#### 2.2.3.4 Bayes Yöntemi ile Hareket Kestirimi

Bayes teoremi ile ilgili olarak En Büyük Sonsal (MAP) kestirimi, iki ardışık video çerçevesi  $(y_k, y_{k-1})$  verildiği durumda çerçeveler arasındaki yer değiştirme vektörlerinin  $(d_1, d_2)$  hesaplanmasını sağlamaktadır. Yer değiştirme vektörleri aşağıdaki fonksiyonu azami dereceye çıkartarak hesaplanmaktadır.

$$(\hat{d}_1, \hat{d}_2) = \arg \max_{(d_1, d_2)} \log \Pr(d_1, d_2 | y_k, y_{k-1}) \quad (2.15)$$

Burada  $\Pr(d_1, d_2 | y_k, y_{k-1})$  iki video çerçevesinin verildiği durumdaki olası yoğunluk fonksiyonunu belirtmektedir. Bayes kuralı kullanılarak bu fonksiyon aşağıdaki şekle dönüşmektedir.

$$\Pr(d_1, d_2 | y_k, y_{k-1}) = \frac{\Pr(y_k | d_1, d_2, y_{k-1}) \Pr(d_1, d_2 | y_{k-1})}{\Pr(y_k | y_{k-1})} \quad (2.16)$$

Bu özellik kullanılarak aşağıdaki eşitliğe dönüştürebiliriz:

$$(\hat{d}_1, \hat{d}_2) = \arg \max_{(d_1, d_2)} \{ \log \Pr(y_k | d_1, d_2, y_{k-1}) + \log \Pr(d_1, d_2 | y_{k-1}) \} \quad (2.17)$$

Problemin çözümünde video çerçeveleri için tanımlanan  $\Pr(y_k | d_1, d_2, y_{k-1})$  ve  $\Pr(d_1, d_2 | y_{k-1})$  olasılık fonksiyonları modellenmelidir. Optik akış ve düşük çözünürlüklü resmin modellenmesindeki eşitlikler kullanılarak ilk terim için aşağıdaki ifade elde edilmektedir.

$$\Pr(y_k | d_1, d_2, y_{k-1}) = \frac{1}{Z(\sigma^2)} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{x \in X} [y_k(x) - y_{k-1}(x - d(x))]^2 \right\} \quad (2.18)$$

Burada  $\sigma^2$  yoğunluğun varyansını,  $Z(\sigma^2)$  varyansa bağlı düzgeleme fonksiyonunu ve  $X$  ise her video çerçevesi için ayrı tanımlanmış özel alanı belirtir. İkinci terim için ise genel olarak tanımlanan Gibbs yoğunluğu kullanılabilir.

$$\Pr(d_1, d_2 | y_{k-1}) = \frac{1}{Z} \exp \left\{ -\frac{1}{2\beta} \sum_{c \in C} [V_c(d_1) + V_c(d_2)] \right\} \quad (2.19)$$

Bu ifadede  $Z$  normalize eden fonksiyonu,  $\beta$  sıcaklık bilgisini ve  $c$  ise  $C$  takımının içerisinde yer alan bir grubu belirtir. Ayrıca her bir potansiyel fonksiyonu ( $V_c(d_1)$  ve  $V_c(d_2)$ ) gerekli bilgileri sağlayacak şekilde tasarlanabilmektedir. Tüm bu bilgiler ışığında da Bayes teoremi ile ilgili olarak MAP kestirimi kullanılarak hareket vektörleri aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$(\hat{d}_1, \hat{d}_2) = \arg \min_{(d_1, d_2)} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{c \in C} V_c(d_1) + \sum_{c \in C} V_c(d_2) + \\ \lambda \sum_{x \in X} [y_k(x_1, x_2) - y_{k-1}(x_1 - d_1(x), x_2 - d_2(x))]^2 \end{array} \right\} \quad (2.20)$$

Burada  $\lambda = \frac{\beta}{\sigma^2}$  olarak tanımlanmaktadır [20].

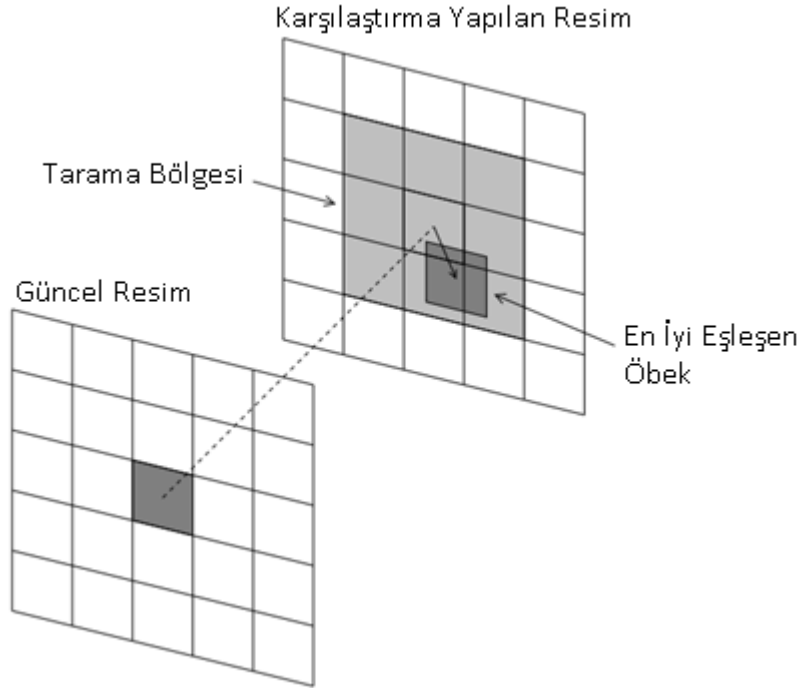
### 2.2.3.5 Öbek Eşleme ile Hareket Kestirimi Yöntemi

Öbek eşleme algoritmaları parlaklığın sabit kalması varsayımına dayanmaktadır. Burada bir resmin belli bir konumundaki piksel değerinin, çekilen diğer bir resimde konumunun değişmesine rağmen, sabit kaldığı varsayılır.

$$I(x, y, t) = I(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) \quad (2.21)$$

Burada  $I(x, y, t)$  piksel parlaklığının bir göstergesidir.  $\Delta x$  ve  $\Delta y$  pikselin konumundaki değişimi ve  $\Delta t$  ise zamandaki değişimi göstermektedir. Parlaklığın sabit olduğu varsayımı arka arkaya çekilen resimlerin arasında görüntünün parlaklığının değiştiği durumda bozulmaktadır. Fakat zaman ve konum değişimi yeterince kısa ise varsayım geçerliliğini korumaktadır. Bu varsayım kullanılarak öbek eşleme algoritmaları resmi, öbek denilen bölgelere ayırmaktadır. Karmaşıklığı azaltmak için genellikle resim aynı ölçülerdeki öbeklere bölünmektedir.

Resim belirlenen öbeklere bölüldükten sonra öbek eşleme algoritmasının görevi, güncel resimdeki öbek ile karşılaştırma yapılan resim içerisinde en iyi eşleşen öbeği bulmasıdır. Şekil 11'da resimsel bir anlatım bulunmaktadır.



Şekil 11: Öbek eşleme yönteminin gösterimi

En iyi eşleniğin bulunmasında, güvenilir olması ve çok karmaşık olmaması sebebi ile genellikle ilinti tabanlı yaklaşımlar tercih edilmektedir. Öbek eşleme yöntemlerinin hemen hemen hepsinde ilinti ölçümü olarak farkların mutlak değerinin toplamı (SAD) kullanılmaktadır. Ardışık resimdeki  $[m, n]$  konumundaki bir öbek ile SAD yöntemi kullanılarak ilinti ölçümü aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.

$$SAD[m, n] = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} |r[i, j] - s[m+i, n+j]| \quad (2.22)$$

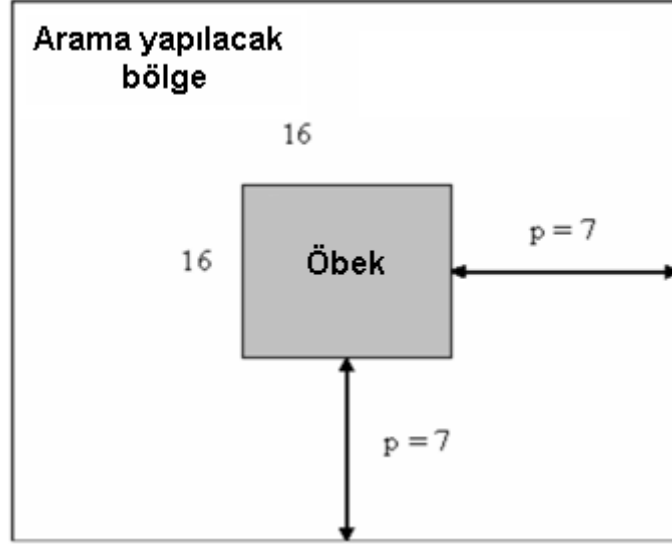
Burada  $N \times N$  öbek ölçülerini,  $r[i, j]$  kaynak resimdeki bir pikseli,  $s[m+i, n+j]$  kaynak resmin komşuluğundaki resmin bir pikselini belirtir.

SAD değerini en küçük hale getiren komşu resimdeki öbeğin konumu bize  $[i, j]$  konumundaki hareket vektörünü vermektedir.

$$HV_{i,j} = \{(k, l) | SAD(k, l) \leq SAD(m, n); -R \leq m, n \leq R-1\} \quad (2.23)$$

Burada  $HV_{i,j}$  terimi  $[i, j]$  konumundaki hareket vektörünü,  $[-R, R-1]$  ise arama menzilini belirtmektedir.

Doğru hareket vektörünü bulma olasılığını artırmak için Şekil 12'de örnek olarak verilen arama menzili değerinin ve öbek boyutlarının istenilen duruma göre uygun şekilde seçilmesi gerekmektedir [5].



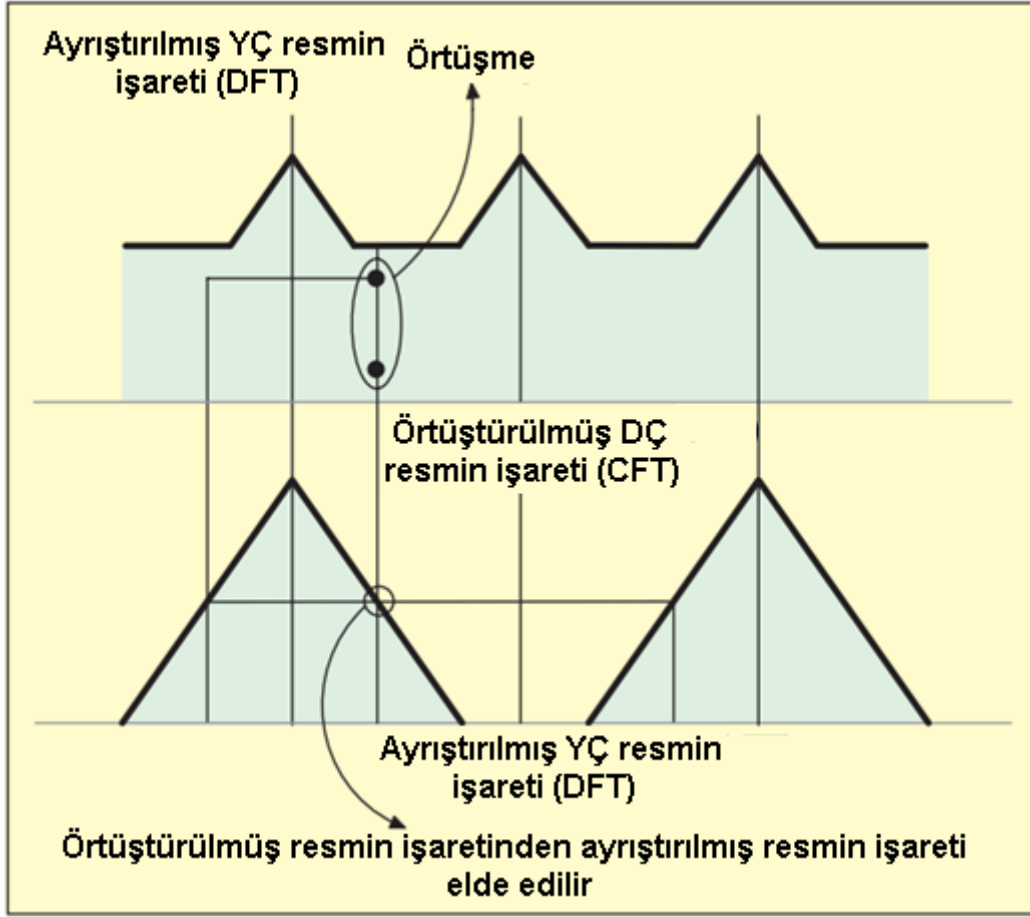
Şekil 12: Arama yapılacak olan menzilin ve öbek boyutlarının gösterimi

## 2.2.4 Yeniden Yapılandırma

Çok sayıda çerçeve üzerinden gerçekleştirilen süperçözünürlük yöntemleri genel olarak frekans alanında ve uzamsal alanlarda olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilmektedir [9].

### 2.2.4.1 Frekans Alanında Tanımlanan Süperçözünürlük Yöntemleri

Frekans alanı yaklaşımı Fourier Dönüşümü'nün kaydırma özelliği ve gerçek görüntünün Sürekli Fourier Dönüşümü (CFT) ile görüntü sensöründen elde edilen düşük çözünürlüklü resmin Ayırık Fourier Dönüşümü (DFT) arasındaki örtüşme ilişkisi üzerine kurulmuştur [5][2].



Şekil 13: Yüksek çözünürlüklü resim ile düşük çözünürlüklü resim arasındaki örtüşme ilişkisi [2]

$x(t_1, t_2)$  istenen görüntünün sürekli bir resmi olsun ve  $x_k(t_1, t_2)$  de her biri  $x(t_1, t_2)$ 'ye bağlı olarak tümenden yatay ya da dikey yer değiştirmeye maruz kalmış gerçek görüntünün  $K - 1$  adet sürekli resmi olsun. Başka bir deyişle bilinmeyen  $\Delta_{k_1}$  ve  $\Delta_{k_2}$  yer değiştirme değişkenleri ile  $x_k(t_1, t_2) = x(t_1 + \Delta_{k_1}, t_2 + \Delta_{k_2})$  ifadesini elde ederiz. Ön bilgi olarak  $x(t_1, t_2)$ 'nin Sürekli Fourier Dönüşümü  $X(u, v)$ ,  $x_k(t_1, t_2)$ 'nin Sürekli Fourier Dönüşümü  $X_k(u, v)$  olsun. Bunların sonucunda Sürekli Fourier Dönüşümü'nün kaydırma özelliğini kullanarak aşağıdaki denklemi elde ederiz:

$$X_k(u, v) = \exp\left[j2\pi(\Delta_{k_1}u + \Delta_{k_2}v)\right] X(u, v) \quad (2.24)$$



Kaydırılmış resimler örnekleme periyotları  $T_1$  ve  $T_2$  seçilerek örneklenirse  $y_k[n, m] = x_k(nT_1 + \Delta_{k_1}, mT_2 + \Delta_{k_2})$  şeklinde düşük çözünürlüklü resim oluşur. Düşük çözünürlüklü resmin Ayırık Fourier Dönüşümü de  $\gamma_k[\Omega_1, \Omega_2]$  olarak gösterilsin. Örtüşme özelliği ve Sürekli Fourier Dönüşümü ile ilintili olarak  $k$  sırasındaki Düşük çözünürlüklü resmin Ayırık Fourier Dönüşümü aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\gamma_k[\Omega_1, \Omega_2] = \frac{1}{T_1 T_2} \sum_{l_1=-\infty}^{\infty} \sum_{l_2=-\infty}^{\infty} X_k \left( \frac{2\pi}{T_1} \left( \frac{\Omega_1}{N_1} - l_1 \right), \frac{2\pi}{T_2} \left( \frac{\Omega_2}{N_2} - l_2 \right) \right) \quad (2.25)$$

Burada  $N_1 \times N_2$  düşük çözünürlüklü resmin boyutlarını göstermektedir.  $X(u, v)$  'nin sınırlı bantlı olduğunu kabul ederek,  $\gamma_k[\Omega_1, \Omega_2]$  ifadesinin Ayırık Fourier Dönüşümü katsayıları ile Sürekli Fourier Dönüşümünü ilişkilendirerek yukarıdaki denklemleri birleştirebiliriz. Matris gösterimini kullanarak da aşağıdaki ifadeyi elde ederiz:

$$\boldsymbol{\gamma} = \boldsymbol{\Phi} \mathbf{x} \quad (2.26)$$

Bu ifadede  $\boldsymbol{\gamma}$   $K \times 1$  kolon vektörüdür ve  $k$  sırasındaki elemanı  $\gamma_k[\Omega_1, \Omega_2]$  şeklindedir.  $\mathbf{x}$  vektörü  $N_1 N_2 \times 1$  boyutunda kolon vektörüdür ve bilinmeyen Sürekli Fourier Dönüşümü katsayılarını içermektedir.  $\boldsymbol{\Phi}$  matrisi ise  $\boldsymbol{\gamma}$  ve  $\mathbf{x}$  ile ilintili bir matristir. Bu nedenle amacımız  $\boldsymbol{\Phi}$  matrisini belirlemek ve buradan  $\mathbf{x}$  matrisini bulmaktır. Son olarak da Ters Ayırık Fourier Dönüşümü kullanılarak istenilen yüksek çözünürlüklü resim elde edilir.

Frekans alanı yaklaşımı düşük çözünürlüklü resimlerin tümünden yer değiştirdiğini, gürültüsüz olduğunu ve bulanık olmadığını varsayar. Halbuki görüntü sensöründen elde edilen düşük çözünürlüklü resimler her zaman gürültü ve bulanıklık içermektedir. Ayrıca düşük çözünürlüklü resimlerin tümünden yer değiştirdiğini varsayarak düşük çözünürlüklü resimler arasındaki bölgesel farklılıkları ihmal eder. Resim içerisindeki tüm nesnelerin aynı yöne doğru hareket ettiğini kabul eder. Bu yaklaşım çoğu resim diziliminde gerçeği yansıtmamaktadır. Frekans alanı

yaklaşımında bu sınırlamaların ötesine geçebilmek için bazı karmaşık modeller türetilmiştir. Fakat bu karmaşık modellerin uygulama güçlüklerinden ötürü Uzamsal Alanlarda tanımlı yöntemler uygulama alanlarında daha çok tercih edilmektedir [2].

## 2.2.4.2 Uzamsal Alanlarda Tanımlanan Süperçözünürlük Yöntemleri

### 2.2.4.2.1 Aradeğerleme ile Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemde öncelikle siyah-beyaz resim çerçevelerinin alt piksel hassasiyetinde hareket kestirimi yapılır. Sonrasında ise istenilen çözünürlük değerine göre resim çerçevelerinin doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemlerle aradeğerlemesi yapılır. Oluşan bu çerçeveler hareket vektörlerine göre örtüştürülerek birbirine en yakın piksellerin üst üste gelmesi sağlanır. Bu aşamadan sonra üst üste gelen piksel değerlerinin istenilen yöneme göre orta noktası bulunarak her bir pikselin değeri hesaplanmış olur. Burada ortalamanın hesaplanması ile veya ortanca değerinin bulunması ile istenilen piksel değeri hesaplanabilmektedir.

Piksel değerleri ortalama alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$X_{HR}(x, y) = \sum_{i=1}^n \frac{Y_{LR}(x, y, i)}{n} \quad \forall x, y \in X_{HR} \quad (2.27)$$

Ortanca değeri bulunarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$X_{HR}(x, y) = \text{median}(Y_{LR}(x, y, 1..n)) \quad \forall x, y \in X_{HR} \quad (2.28)$$

Burada  $X_{HR}$  elde edilen yüksek çözünürlüklü resmi,  $Y_{LR}$  aradeğerleme yapılmış olan düşük çözünürlüklü resmi ve  $n$  kullanılan düşük çözünürlüklü resim sayısını belirtmektedir [11][12][13].

Bu yöntem düşük hesaplama maliyeti oluşturmasının yanı sıra alçak frekans geçirimli süzgeç etkisi sayesinde gürültüye dayanıklı olması ve hareket kestirimindeki küçük sapmalara karşı dayanıklı olmasından ötürü öne çıkmaktadır. Elde edilen resmin bulanık olması ise aleyhte bir durum olarak gösterilebilir. Ancak

bu yöntem elde edilen resim üzerinde iyileştirme yapılmasına imkan tanımaktadır. Şekil 14'de bu yöntem işleyiş sırasına göre gösterilmektedir.



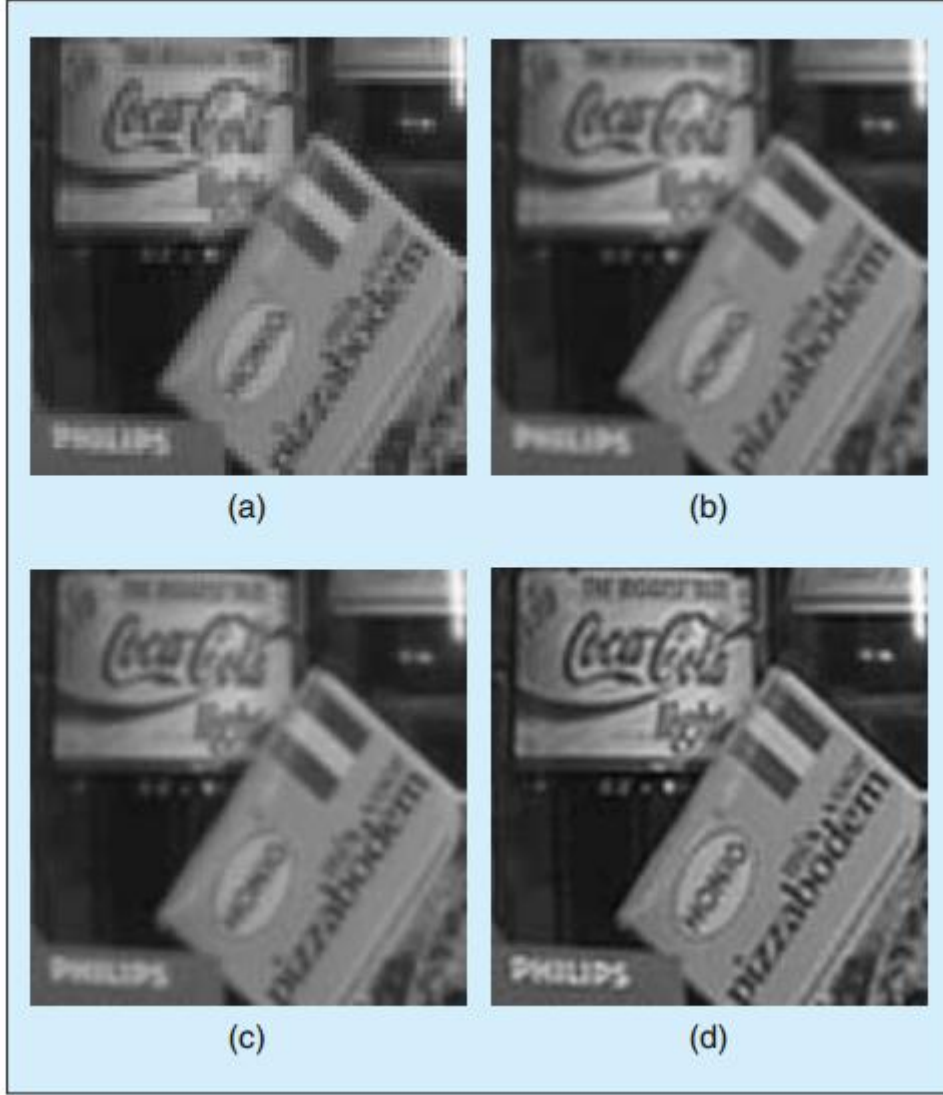
Şekil 14: Aradeğerleme ile birleştirme yöntemi

#### 2.2.4.2.2 Doğrusal Olmayan Aradeğerleme Yaklaşımı

Bu yaklaşımda Şekil 9'da belirtilen üç aşama başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

- i) Hareket kestirimi: Düşük çözünürlüklü resimler arasındaki kayma miktarları hesaplanır.
- ii) Yeniden yapılandırma: Doğrusal olmayan aradeğerleme ile yüksek çözünürlüklü resim oluşturulur.
- iii) İyileştirme: Bulanıklığın ve gürültünün giderilmesi

Şekil 9'da bu yaklaşımın görsel bir anlatımı bulunmaktadır. Burada öncelikle tüm düşük çözünürlüklü resimlerin yatayda ve dikeyde yer değiştirme miktarları bulunur. Daha sonra doğrusal olmayan olan bu noktalar çeşitli yöntemlerle işlenerek yüksek çözünürlüklü çerçeveye düzenli bir şekilde yerleştirilir. Son olarak da elde edilen yüksek çözünürlüklü resmi iyileştirmek için gürültü ve bulanıklık giderme yöntemleri uygulanır.



Şekil 15: Doğrusal olmayan aradeğerleme yaklaşımı uygulaması a) En yakın komşuluk ile aradeğerleme, b) Çiftdoğrusal aradeğerleme, c) Dört adet düşük çözünürlüklü resim kullanarak doğrusal olmayan aradeğerleme, d) c)'de elde edilen çıktının bulanıklığının giderilmesi [2]

Diğer algoritmalarla göre hesap yükü biraz daha az olduğu için gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılmaya imkan tanımaktadır. Fakat bu uygulama sadece tüm düşük çözünürlüklü resimlerin gürültü ve bulanıklık miktarlarının aynı olduğu durumlarda kullanılabilir. Ek olarak önceki aşamalarda hatalar iyileştirme aşamasında düzeltilemediği için bu adım hataları artırıcı rol oynayabilmektedir.

### 2.2.4.2.3 Olasılıksal Yaklaşım

Olasılıksal yaklaşımda yüksek çözünürlüklü resim ve düşük çözünürlüklü resimler arasındaki yer değiştirme, rastgele değişkenler olarak alınmaktadır. Bu yaklaşım ile istenilen, elimizde var olan düşük çözünürlüklü resimler ( $Y$ ) kullanılarak olasılığı en yüksek olan yüksek çözünürlüklü resmi ( $X$ ) bulmaktır. Bahsedilen temel olasılıksal ifadeyi aşağıdaki şekilde betimleyebiliriz:

$$X = \arg \max P(X | Y) \quad (2.29)$$

Bu denklemi Bayes kuralını kullanarak aşağıdaki şekle dönüştürebiliriz.

$$X = \arg \max P(Y | X)P(X) \quad (2.30)$$

Burada  $P(Y | X)$  olabilirlik bilgisini,  $P(X)$  ise elde edilmek istenilen yüksek çözünürlüklü resmin önsel ifadesini belirtmektedir. Bölüm 2.1'e dönecek olursak gürültü bileşenini aşağıdaki şekilde belirtebiliriz

$$N = Y - AX \quad (2.31)$$

Buradaki gürültüyü ortalaması sıfır ve Normal dağılımlı olarak kabul edersek olabilirlik bilgisi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$P(Y | X) \propto \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \|Y - AX\|^2 \right\} \quad (2.32)$$

Önsel  $P(X)$  terimi ise pek çok farklı dağılım kullanılarak ifade edilebilir. Burada gürültü ve bulanıklık gibi pek çok hata kaynağı olabileceği için düzenli bir önsel dağılım kullanamamaktayız. Bunun yerine kötü konumlanmış bu yapıyı düzenleyen önsel yaklaşımlar kullanılmaktadır. Süperçözünürlük kaynaklarında genellikle  $P(X)$  dağılımı üstel Gibbs dağılımı olarak verilmektedir.

$$P(X) = \frac{1}{Z} \exp \{ -\alpha V(X) \} \quad (2.33)$$

Burada  $Z$  düzgünleme katsayısını,  $\alpha$  önsel bilginin ağırlıklandırmasını ve  $V(X)$  ise pozitif güç fonksiyonunu belirtmektedir. Olabilirlik bilgisi ve yüksek çözünürlüklü resmin önsel dağılımı verildiğinde aşağıdaki MAP çözümünü elde etmekteyiz.

$$X = \arg \max \frac{1}{Z} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \|Y - AX\|^2 - \alpha V(X) \right\} \quad (2.34)$$

Daha sade bir gösterimle aşağıdaki ifadeyi elde ederiz

$$X = \arg \min \left\{ \frac{1}{2\sigma^2} \|Y - AX\|^2 + \alpha V(X) \right\} \quad (2.35)$$

Bu denklemde pek çok önsel yaklaşım tercih edilebilmektedir. Bunların en yaygın kullanılanları Normal dağılımlı rastgele alan (GMRF), Huber MRF ve Tam Değişim (TV) yaklaşımlarıdır. Elde ettiğimiz MAP çözümünün önsel bilgi içermeyen özel bir hali olan En Büyük Olabilirlik (ML) çözümü de benzer bir yaklaşımla kullanılabilir.

#### 2.2.4.2.4 Dışbükey Kümeler Üzerine İzdüşüm Yaklaşımı

Bu yaklaşım ile var olan önbilgileri birleştirerek ve yeniden yapılanma işlemi için birden fazla dışbükey küme oluşturarak bize çözüm sunmaktadır. Büyük olasılıkla da oluşturulan bu kümelerin istenilen yüksek çözünürlüklü resmi içeren bir kesişim noktası bulunmaktadır. Kesişim noktası bulunmasa bile bu algoritma bize kümeler arasındaki en kısa mesafeyi vermektedir. Yüksek çözünürlüklü resmi bulmak için başlangıçta tahmini bir yüksek çözünürlüklü resim kullanılarak bir kümeden diğer kümeye izdüşümler alınmaktadır. Burada kümeler dışbükey olmak üzere başlangıçtaki yüksek çözünürlüklü resim, elde edilmek istenen yüksek çözünürlüklü resme yakınsamaktadır.

Dışbükey kümelerin seçimi oldukça esnektir. Her küme, resimler hakkında farklı önbilgiler içermekte ve karmaşık yapılarla modellenmektedir.

Başarılı bir uygulama olmasına rağmen her uygulamada olduğu gibi burada da bazı istenmeyen durumlar bulunmaktadır. İlk olarak burada yakınsama şeklinde bir

çözüm arandığı için her zaman tek bir çözüm elde edilememektedir. Ayrıca istenilen sonuca çok yavaş bir şekilde yakınsamaktadır. Son olarak da hareket kestirimi değerleri tam olarak doğru kabul edildiğinden küçük farklılıklar sonuca doğrudan yansiyarak büyük bozulmalara sebep olabilecektir.

#### 2.2.4.2.5 Döngüsel geri yansıtma yaklaşımı

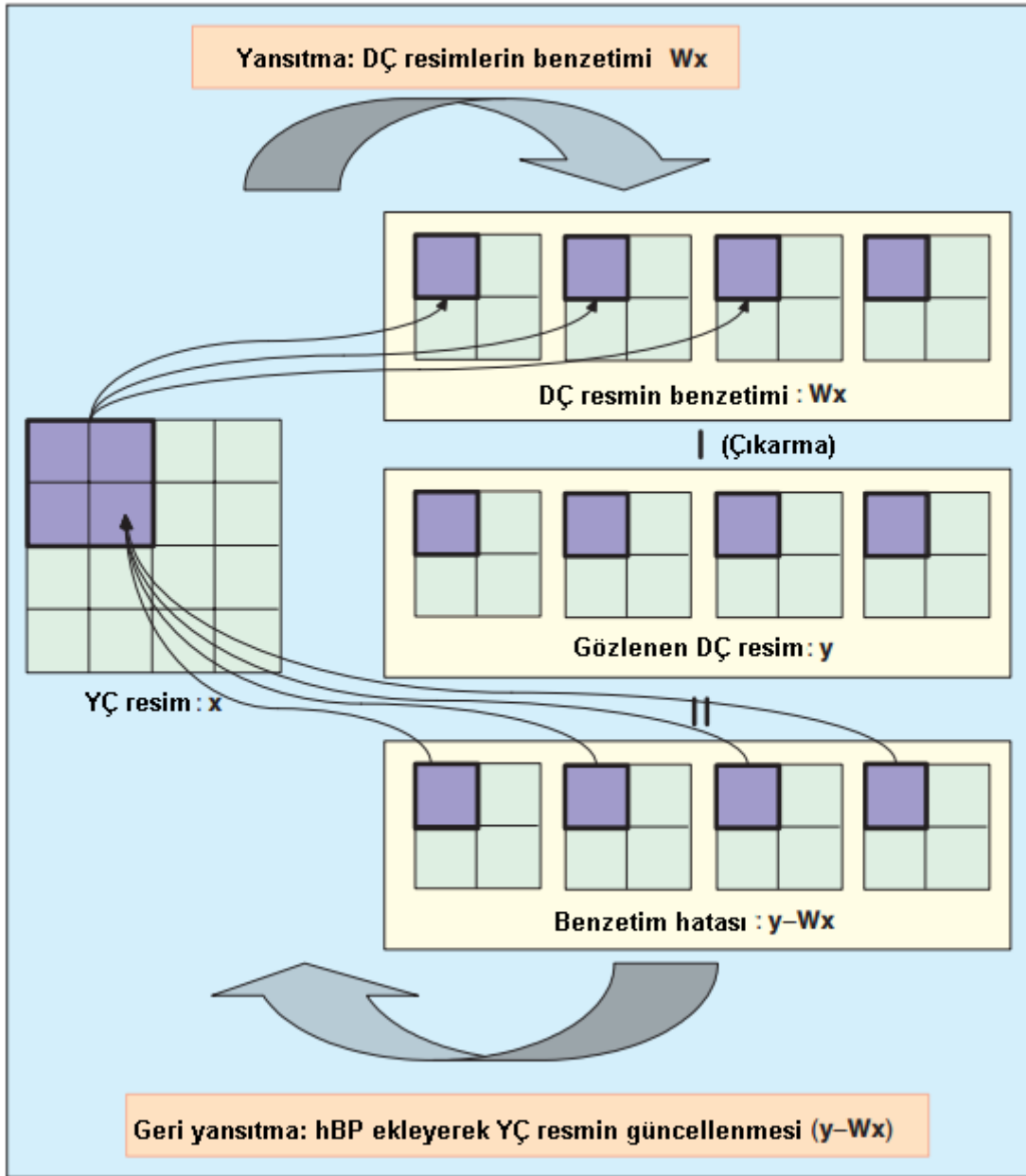
Bu yaklaşımda benzetimi yapılan düşük çözünürlüklü resimler ile elimizde bulunan düşük çözünürlüklü resimler arasındaki hata geri yansıtılarak yüksek çözünürlüklü resim kestirilmektedir. Bu işlem resimler arasındaki hata azalana kadar devam etmektedir.

$$ysim_k^n = DB_k M_k \cdot \hat{x}^n + n_k \quad k = 1, \dots, p \quad (2.36)$$

$$\hat{x}^{n+1} = \hat{x}^n + \beta \left[ \sum_{k=1}^p h^{BP} \cdot (y_k - ysim_k^n) \right] \quad (2.37)$$

$$\hat{x}^{n+1}[\mathbf{n}_1, \mathbf{n}_2] = \hat{x}^n[\mathbf{n}_1, \mathbf{n}_2] + \sum_{k=1}^p \left( y_k[\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2] - ysim_k^n[\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2] \right) \times h^{BP} \quad (2.38)$$

Burada  $n$  döngü sayısını,  $\hat{x}$  benzetimi yapılan yüksek çözünürlüklü resmi,  $p$  resim sayısını,  $y_k$  elimizde bulunan düşük çözünürlüklü resimleri,  $ysim_k^n$  döngü sonrasındaki düşük çözünürlüklü resimlerin benzetimini,  $\mathbf{n}_1, \mathbf{n}_2$  yüksek çözünürlük uzayını ve  $\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2$  ise düşük çözünürlük uzayını belirtmektedir.  $h^{BP}$  terimi ise hatanın kestirim üzerindeki katkısını belirtir. Bu terimin seçimi çözümün niteliğini etkilemektedir. Şekil 16'te bu yaklaşımın bir gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 16: Döngüsel geri yansıtma yaklaşımı [2]

#### 2.2.4.2.6 Uyarlanabilir Süzme Yaklaşımı

Bu yaklaşım Uyarlanabilir Süzme kuramının zaman eksenine uyarlanması üzerine kurulmuştur. Burada düşük çözünürlüklü resmin modellemesi, zamana bağlı hale getirmek için değiştirilmektedir ve sözde-Yinelemeli En Küçük Kareler (RLS) veya Yinelemeli Karelerin Ortalamasının En Küçüğü (R-LMS) çözüm yolları temelinde En Küçük Kareler (LS) kestirimleri önerilmektedir. Her seferinde yinelemeli olarak yüksek çözünürlüklü resmi kestirmek için En Dik İniş (SD) ve düzgelenmiş SD



özüm yolu uygulanmaktadır. LMS özüm yolu ise SD özüm yolundan türetilmektedir. Sonuç olarak yüksek çözünürlüklü resim her seferinde, matris çevirmenin hesaplama güc­lüğü olmadan hesaplanmaktadır. Bu yaklaşım göstermektedir ki seçilen herhangi bir çıkış çözünürlüğünde yüksek çözünürlüklü resim dizisi kademeli olarak kestirilebilmektedir.

### 3. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Benzetim çalışmalarının en başında tez kapsamında gerçekleştirilecek olan uygulamada kullanılacak olan donanım belirlenmiştir. Aynı zamanda çoklu çerçeve üzerinden süperçözünürlük gerçekleştirileceği belirlenerek çalışmalara başlanmıştır. Uygulamada kullanılacak olan yöntem ise benzetim çalışmaları kapsamında donanımın ve yazılımın birbirleriyle uyumlu olacağı bir şekilde belirlenmiştir.

Gerçeklenecek olan uygulamada görüntünün sabit kalıp kameranin hareket halinde olduğu veya alınan görüntünün tümünden hareket edip kameranin sabit kaldığı durumlar üzerinden çalışma yürütülmüştür. Bu sebeple tümünden hareket kestirimi yapılarak uygulama gerçekleştirilmiştir. Ayrıca burada dönme hareketinin kestirimi işlem yükünü ve hafıza kullanım miktarını arttıracığı için iki boyutta yatay ve dikey kayma hareketlerinin kestirimi gerçekleştirilmiştir.

Yapılacak olan benzetim çalışmalarını genel olarak üç aşamaya ayırmak doğru olur. Bu aşamalar, yapılacak uygulama içerisinde kullanılmak üzere yöntemin belirlenmesi, belirlenen yöntemin benzetiminin yapılması ve yapılan benzetimin başarımlı ölçümünün yapılması olarak sıralanabilir.

#### 3.1 Uygulamada Kullanılacak Süperçözünürlük Yönteminin Belirlenmesi

Çoklu çerçeve üzerinden süperçözünürlük yukarıda da belirtildiği gibi ana hatlarıyla, hareket kestirimi ve yeniden yapılandırma kısımlarından oluşmaktadır. Tez kapsamında öncelikle uygulamada kullanılacak olan yöntemler belirlenmeye çalışılmıştır. İlk olarak hareket kestirimi yöntemleri üzerinde bazı denemeler ve çalışmalar yapılmıştır. Bu denemelerde piksel tabanlı yöntem, frekans alanında hareket kestirimi, optik akış eşitliği kullanılarak hareket kestirimi ve öbek eşleme ile hareket kestirimi yöntemlerinin tamamı denenerek ve benzetim programı içerisinde koşturularak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemlerin hepsinden başarılı sonuçlar elde edilmesine rağmen FPGA üzerinde uygulanabilirliği, donanımın yeterliliği ve kestirimin hangi hassasiyette yapılması gerektiği kullanılacak olan yöntem için belirleyici etkenler olmuşturlar. Bu çalışmaya ek olarak deneme

çalışmaları ile birlikte çeşitli kaynaklardan konu ile ilgili makaleler incelenmiştir. Bunların sonucu olarak da öbek eşleme ile hareket kestirimi yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

Yeniden yapılandırma yöntemi için ise daha çok uzamsal alanlarda tanımlanan yöntemler incelenmiştir. Bu yöntemler içerisinde en çok doğrusal olmayan aradeğerleme yaklaşımı üzerinde durulmuştur. Bu yaklaşımın benzetim çalışmaları yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Fakat kullanılacak olan belleğin sınırlı oluşu burada belirleyici etken olmuştur. Çözüm olarak bu yöntem ile benzer fakat daha az hafıza ve işlem gerektiren aradeğerleme ile birleştirme yöntemi tercih edilmiştir.

### **3.2 Belirlenen Yöntem Üzerinden Çözüm Yolu Oluşturulması**

Burada öbek eşleme ile hareket kestirimi ve aradeğerleme ile birleştirme yöntemlerinin nasıl uygulanacağı belirlenmiştir. Yapılan uygulama ve benzetim çalışmalarında MATLAB yazılımı etkin olarak kullanılmıştır.

İlk olarak öbek eşleme yönteminin nasıl yapılacağı üzerinde durulmuştur. Çoklu veya tekli öbek kullanılarak ve bu öbekleri iki veya tek boyutta işleyerek yöntem uygulanabilmektedir. Burada kameranın hareket ettiği durum uygulanacağı için tek öbek kullanılarak tümünden hareket kestirimi gerçekleştirilecektir.

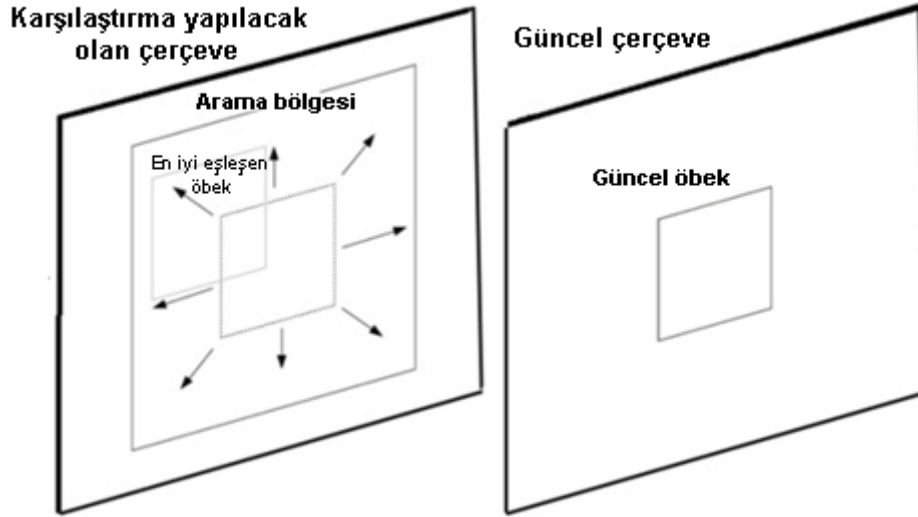
Öbek eşleme yönteminde güncel resimdeki öbeğe karşılık gelen en uygun öbek karşılaştırma yapılan resim içerisinde aranır. Bu arama işlemi için pek çok yöntem kullanılmaktadır. Bu arama yöntemlerinin en temeli kapsamlı arama yöntemidir. Her ne kadar bizi çözüm vektörüne hatasız olarak ulaştırırsa da en çok hesaplama gerektiren yöntem olduğu için yapılan uygulamalarda tercih edilmemektedir. Özellikle öbek sayısı arttığında ve tarama bölgesi genişletildiğinde bu arama yöntemi çok büyük hesap yükü getirmektedir. Bu hesap yükü hem daha fazla maliyet hem de daha fazla zaman kaybı anlamına gelmektedir. Bu hesap yükünü azaltmak ve arama sonucuna daha hızlı bir şekilde ulaşabilmek için pek çok çözüm yolu geliştirilmiştir. Bu çözüm yolları dögüsel veya kademeli olarak sonuç vektörüne ulaşmaktadır.

İki boyutta yapılan öbek eşlemelerinin yanında tek boyutta öbek eşleme yapılmasına imkan tanıyan ve işlem yükünü oldukça aza indiren yöntemler de bulunmaktadır. Burada iki boyutlu resmin yatay ve dikey eksenlerde izdüşümü alınarak resim tek boyutlu iki vektör halinde ifade edilmektedir. İzdüşümler ile hareket kestiriminin mümkün oluşu Fourier dilimleme kuramı ile açıklanabilmektedir. Burada resmin belli bir yöndeki izdüşümünün Fourier dönüşümü resim üzerinden aynı yönde alınan iki boyutlu Fourier dönüşümüne eşit olmaktadır [21].

İzdüşüm alındıktan sonra kapsamlı arama veya yine iki boyutta olduğu gibi bu kez tek boyutta döngüsel veya kademeli olarak hareket vektörü hesaplanabilmektedir. Burada kapsamlı arama yöntemi tek boyut üzerinden yapılacağı için artık hesaplama maliyeti açısından sakınca yaratmamaktadır. Ayrıca bu yöntem iki boyutun da aynı anda kullanıldığı döngüsel bir yaklaşım olmadığı için kullanılacak olan FPGA mimarisine uygun ve eşzamanlı olarak her iki eksendeki hareket vektörü hesaplanabilecektir.

### **3.2.1 İntegral İle İzdüşüm Yaklaşımı**

Hareket kestirimi yapılacak olan resimlerin ölçüleri  $N \times N$  olsun. Kestirimde kullanılacak olan öbeğin ölçüleri ise  $K \times K$  olsun. Burada  $N \times N$  ölçülerindeki güncel resim çerçevesinden  $K \times K$  ölçülerinde bir öbek alınarak karşılaştırma yapılacak olan çerçevenin içerisinde belirlenen bölge içerisinde arama işlemi gerçekleştirilecektir.



Şekil 17: Tümenden hareket kestirimi yapılacak resim çerçeveleri ve öbek eşlemenin gösterimi

İntegral ile izdüşüm yaklaşımı  $K \times K$  boyutundaki piksel değerlerini  $K \times 1$  boyutunda iki vektöre dönüştürmektedir. Biri öbek içerisindeki satırlardan diğeri ise sütunlardan oluşturulmaktadır.  $m$  öbek içerisindeki satırı,  $n$  ise öbek içerisindeki sütunu temsil edecek şekilde aşağıdaki ifade bir satır ya da sütundan oluşturulan izdüşümü ifade eder.

$$p_d(m;i) = \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} f_i(m,n) \quad (3.1)$$

$$p_y(n;i) = \frac{1}{K} \sum_{m=0}^{K-1} f_i(m,n) \quad (3.2)$$

Burada  $f_i(m,n)$   $i$ 'inci resim çerçevesinde bulunan pikselin parlaklık değerini belirtmektedir.

Güncel çerçevede bulunan öbek ile aynı noktada merkezlenerek karşılaştırma yapılacak olan çerçeve içerisinde  $(K + 2s) \times (K + 2s)$  boyutunda bir bölgede integral ile izdüşüm yaklaşımı ile arama yapılır. Arama yapılacak olan bölgenin genişliğini belirten  $s$  yapılacak olan uygulamaya göre seçilebilmektedir. Daha sonra arama yapılacak bölgedeki öbeklerden elde edilen izdüşümler arasında

karşılaştırma yapmak için SAD, MAD, MAE, MSE, SSE, SATD yöntemlerinden biri kullanılarak hatanın enküçültme yapılmasıyla yatay ve dikey hareket vektörleri elde edilir. Tez içerisinde hataların enküçültme yapılmasında SAD yöntemi kullanılmıştır.

$$\hat{a} = \arg \min_{a \in \{-s, \dots, s\}} \sum_{m=1}^K |p_d(m; i) - \hat{p}_d(m - a; i - 1)| \quad (3.3)$$

$$\hat{b} = \arg \min_{b \in \{-s, \dots, s\}} \sum_{n=1}^K |p_y(n; i) - \hat{p}_y(n - b; i - 1)| \quad (3.4)$$

Burada  $p_d(m; i)$  güncel resim çerçevesinin izdüşüm vektörünü,  $\hat{p}_d(m; i - 1)$  ise karşılaştırma yapılacak bir önceki resim çerçevesinin izdüşüm vektörünü belirtir.  $\hat{p}_d$  ve  $\hat{p}_y$  ile gösterilen izdüşüm vektörleri de karşılaştırma yapılacak çerçevenin arama bölgesi içerisindeki her bir öbek için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Yöntemin sonucunda elde edilen  $\hat{a}$  ve  $\hat{b}$  değerleri  $(-s, s)$  bölgesi içerisinde sırası ile yatay ve dikey hareket miktarlarını belirtir ve birlikte, elde edilmek istenen hareket vektörünü oluşturur.

Görüldüğü gibi yatay ve dikey hareket vektörleri birbirlerinden bağımsız bir şekilde hesaplanabilmektedir.

İki boyutta oluşturulan öbek eşleme yöntemlerinin hepsinde alt piksel hareketlerini bulabilmek için öncelikle güncel resim çerçevesi ve karşılaştırma yapılacak olan resim çerçevesinin istenilen seviyede aradeğerleme yapılması gerekmektedir. Fakat izdüşüm yöntemi sayesinde resimlerin aradeğerleme yapılmasına gerek kalmadan izdüşümlerin alınarak sonrasında ise izdüşüm vektörlerinin aradeğerlemesi yapılarak aynı sonuç daha kolay bir şekilde elde edilebilmektedir [21].

Yapılan benzetim çalışmalarında hareket kestirimi için yukarıdaki, integral ile izdüşüm yaklaşımı kullanılmıştır. Benzetim programının içerisinde gerekli yazılım oluşturulmuştur. Bu yazılım bize, dört adet resim çerçevesi üzerinden hareket kestirimi yapıldığı için, bu resimlere ait üç adet hareket vektörünü çıktı olarak vermektedir.

### 3.2.2 Aradeğerleme ile Birleştirme Yöntemi

Benzetim çalışmasının bu kısmında girişte kullanılan dört adet resim ve bir önceki kısımda hesaplanan hareket vektörleri girdi olarak kullanılmaktadır. Burada öncelikle tüm resimlerin çiftdoğrusal aradeğerlemesi yapılmıştır. Sonrasında ise hesaplanan hareket vektörleri ile tüm resimler alt piksel hassasiyetinde kaydırılarak, (2.27) numaralı formülün yardımı ile bu dört resmin birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

### 3.3 Başarım Ölçümleri

Süperçözünürlük uygulaması için oluşturulan çözüm yolunda görsel sonuçların yanında elde edilen sonuçların rakamsal olarak başarım ölçümlerinin yapılarak değerlendirilmesi önem teşkil etmektedir.

#### 3.3.1 Öbek Eşleme Yöntemlerinin Başarım Ölçümü

Hareket kestirimi için öbek eşleme yöntemi seçildikten sonra benzetim programında bu yöntemin iki farklı yoldan çözüm yolu oluşturulmuştur. Birincisi iki boyutlu (2B) arama yaparak öbek eşleme yaklaşımı, ikincisi ise iki boyutlu problemi tek boyutlu (1B) iki adet probleme dönüştüren integral ile izdüşüm yaklaşımıdır. Bu iki yaklaşım da benzetim programında oluşturulmuştur. İki boyutta oluşturulan öbek eşleme yönteminde hareket kestirimi kapsamlı arama ile yapılmıştır.

Resim çerçevesinin toplamalı Gauss gürültüsü için işaret gürültü oranı (SNR) decibel (dB) cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir [22]. Benzetim çalışmalarında farklı gürültü değerleri için aşağıdaki yöntem ile SNR değeri hesaplanmıştır .

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sigma_{DÇ\text{resim}}^2}{\sigma_{gürültü}^2} \quad (3.5)$$

Burada yapılan çalışmada tek boyutta yapılan öbek eşleme ile iki boyutta yapılan öbek eşlemenin bir karşılaştırması yapılmıştır. Her iki yöntem için bir videodan alınan 20 adet resim çerçevesi farklı SNR değerlerinde 5'er kez koşturulmuştur. Her defasında, kaç adet resim çerçevesinin, bir önceki resim çerçevesine göre, yatay ve dikey hareket vektörlerinin hatalı olarak kestiriminin yapıldığı kaydedilmiştir. Bu 5 adet koşturmadan elde edilen hata sonuçlarının ortalaması alınarak 20 adet resimdeki hatalı kestirim sayısı elde edilmiştir. Burada küçük kaymalar da hesaplama dahil edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen Şekil 19'da görülmüştür ki düşük SNR değerine sahip resim çerçevelerinin hareket kestiriminde her iki yöntemde de daha fazla hata oluşmaktadır. SNR değeri yükseldikçe hata sayısı hızlıca düşmektedir.

Bu çalışmada kullanılan videodaki bir resim çerçevesi Şekil 18'te görülmektedir.



Şekil 18: Evler ve çiçekler

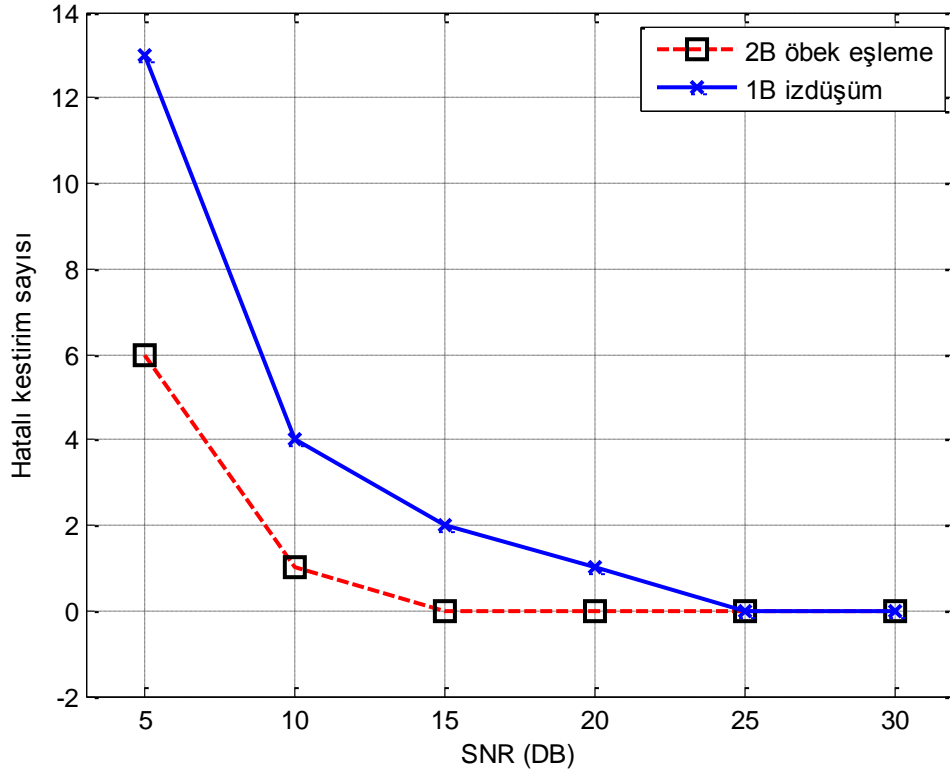
İki boyutta yapılan ve bir boyutta yapılan hareket kestirimlerini karşılaştıracak olursak 25 dB'den daha düşük SNR değerlerinde iki boyutta gerçekleştirilen hareket kestiriminin daha doğru sonuçlar verdiği görülmektedir. 15 dB ve üzerinde iki boyutta gerçekleştirilen hareket kestiriminin hatasız çalıştığı, 25 dB ve üzerinde ise tek boyutta gerçekleştirilen hareket kestiriminin hatasız çalıştığı görülmektedir.

Buradan edinilen bilgiye göre 25 dB ve üzerindeki SNR değerine sahip videolarda iki boyut yerine tek boyutta yapılan hareket kestirimi rahatlıkla kullanılabilir. 15 dB ile 25 dB arasında ise %10 hata ile tek boyutta hareket kestirimi gerçekleştirilebilir. Burada hata değerinin yüksek çıkmasının bir nedeni de



video çerçevelerinin alt piksel hassasiyetinde kaymış olmasıdır. Örneğin 1 piksel hassasiyetinde hareket kestirimi yapıldığında 0.9 piksel kaymış bir resim ile 0.6 piksel kaymış bir resmin hareket kestirimi sonucu gürültünün olmadığı durumda 1 piksel olacaktır. Gürültünün olduğu durumda ise 0.6 piksel kaymış olan resmin hareket kestiriminin sonucunun 0 olma ihtimali 0.9 piksel kaymış olan resimden daha fazla olacaktır.

Uygulama yapılacak olan donanımda kullanılan kameranın içerisinde bulunan görüntü sensörü yaklaşık 37 dB SNR ile görüntüyü kaydettiği için ve bu SNR değerinde tek boyutta gerçekleşen integral ile izdüşüm yaklaşımı sorunsuz çalıştığı için yapılan donanımda izdüşüm yaklaşımı kullanılmıştır.



Şekil 19: 1B ve 2B’de hatalı kestirim sayıları

### 3.3.2 Uygulamada Kullanılan Yöntemin Başarım Ölçümü

Bu kısımda, belirlenen öbek eşleme ve aradeğerleme ile birleştirme yöntemleri ile oluşturulan çözüm yolu kullanılarak gerçekleştirilen süperçözünürlük uygulamasının başarım ölçümü yapılacaktır. Farklı gürültü değerlerinde ve

bulanıklık uygulandığı durumda çiftdoğrusal aradeğerleme ile birlikte, oluşturulan çözüm yolunun değerlendirilmesi yapılacaktır.

Burada Bölüm 2.1’de anlatılan düşük çözünürlüklü resimlerin modellenmesinden yola çıkarak oluşturulan çözüm yolunun başarımlı ölçümü yapılacaktır. Bu çalışmada Şekil 20’de bulunan resim kullanılmıştır.



Şekil 20: Bina ve önündeki iskele

Elde edilen resimlerin karşılaştırılmasında doruk sinyal gürültü oranı (PSNR) kullanılmaktadır [23]. Burada belirtilen yöntem kullanılarak YÇ gerçek resim ile incelenecek olan YÇ resimlerin karşılaştırılması yapılmış olur.

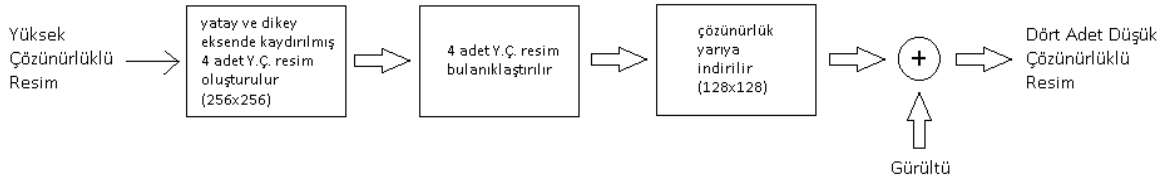
$$PSNR = 10 \log \left[ \frac{(255)^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{y=1}^N \sum_{x=1}^M (im1(x, y) - im2(x, y))^2} \right] \quad (3.6)$$

Burada 255 piksel değerinin en yüksek değerini belirtmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan siyah-beyaz resimler 8 bitlik piksel değerlerine sahip olduğu için 255 değeri kullanılmıştır.

Şekil 21’de görülen düşük çözünürlüklü resimlerin modellenmesi ile yüksek çözünürlüklü bir resimden sonrasında iyileştirme yapmak amacıyla 4 adet düşük çözünürlüklü resim elde edilir.

İlk olarak elimizde bulunan yüksek çözünürlüklü resimden kendi aralarında kaydırılmış 256x256 boyutunda 4 adet yüksek çözünürlüklü resim elde edilir. Sonrasında bu 4 adet resmin hepsi bulanıklaştırılır ve çözünürlükleri yarıya indirilir (128x128). Son olarak da her bir resme toplanabilir Gauss gürültüsü eklenerek de 4 adet düşük çözünürlüklü resim çerçevesi elde edilir.

Elde edilen bu düşük çözünürlüklü resim çerçevelerinden, Bölüm 3.2’de oluşturulan çözüm yolu kullanılarak 256x256 boyutunda yüksek çözünürlüklü resim elde edilir. Yüksek çözünürlüklü gerçek resim ile, oluşturulan çözüm yolunun çıktısı olan yüksek çözünürlüklü resim kullanılarak PSNR değeri elde edilir. Bir de sadece çiftdoğrusal aradeğerleme yapılmış olan yüksek çözünürlüklü resim kullanılarak PSNR değeri elde edilir.



Şekil 21: YÇ resim çerçevelerinden DÇ resimlerin elde edilmesi

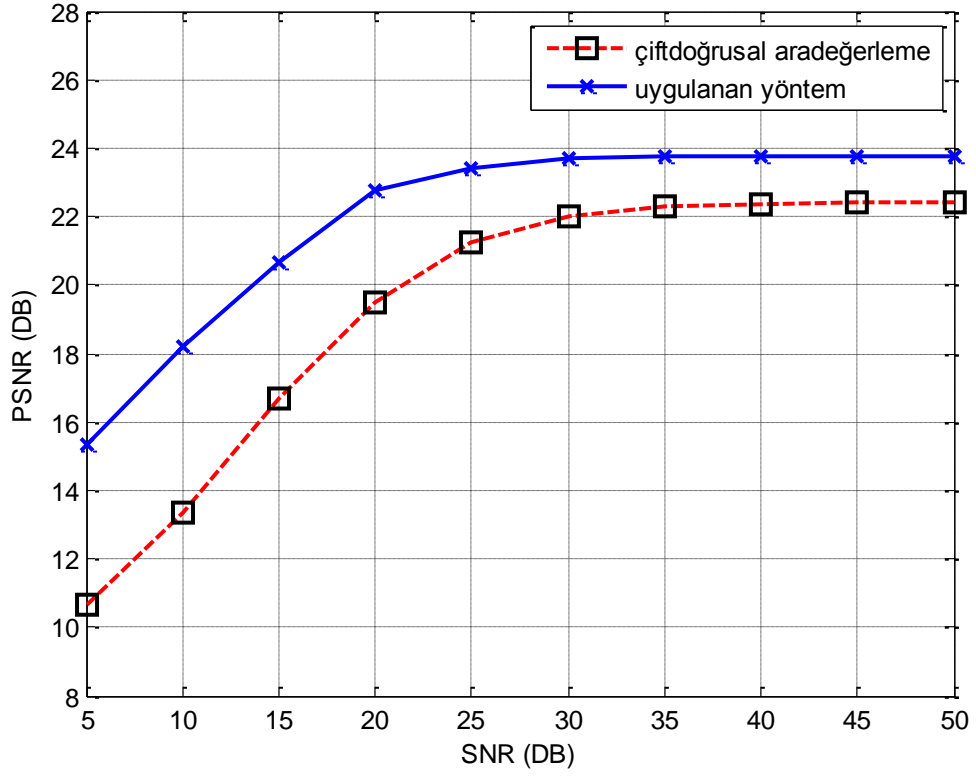
Yapılan başarımlı ölçümü çalışmasında önceden belirlenen ve Çizelge 1’de gösterilen değerler kullanılmıştır.

Çizelge 1: Uygulamada kullanılan değerler

DÇ çerçeve boyutu	128x128 piksel
YÇ çerçeve boyutu	256x256 piksel
Arama yapılacak öbek boyutu	240x240 piksel
Arama genişliği	5 piksel
Düşük çözünürlüklü çerçeve sayısı	4

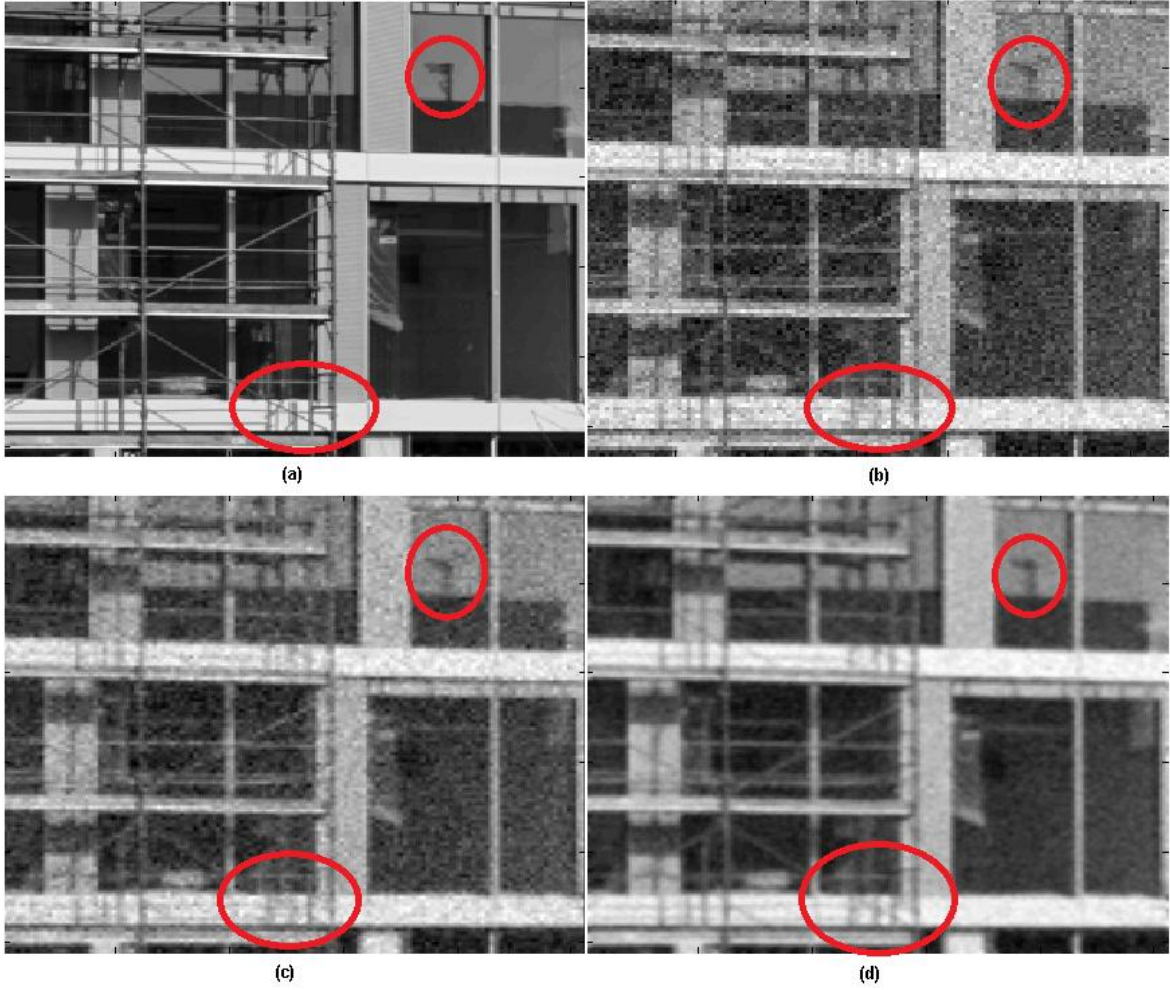
Burada arama genişliği çekilen videodaki hareket miktarına göre seçilmektedir. Büyük hareket içeren videolarda arama genişliğinin de büyük seçilmesi gerekmektedir. Küçük hareket içeren videolarda ise küçük seçilebilmektedir. Daha büyük arama genişliği her zaman daha geniş bir alanın taranmasına yol açıp daha çok hesaplamanın yapılmasını gerektirmektedir [23]. Burada arama genişliği 5 olarak seçilmiştir. Gerçekleştirilen uygulama kameranın hareketli olduğu durumda videonun netleştirilmesini içerdii için kameranın hareket hızı bu değere uygun olarak ayarlanabilir. Eğer yapılacak uygulamaya göre daha hızlı hareket eden bir kamera kullanılıyorsa bu değer büyütülebilir.

Yapılan çalışmanın ilk aşamasında çiftdoğrusal aradeğerleme ve oluşturulan çözüm yolu kullanılarak farklı gürültü miktarları ile elde edilen SNR değerlerine karşılık gelen PSNR değerleri elde edilmiştir. Şekil 22'da elde edilen sonuçlar çizim şeklinde verilmiştir. Buradan tüm SNR değerlerinde, oluşturulan çözüm yolundan elde edilen başarımın çiftdoğrusal aradeğerleme yönteminden elde edilene göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Özellikle düşük SNR değerlerinde, oluşturulan çözüm yolunun daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bunun sebebi olarak aradeğerleme ile birleştirme yönteminin alçak frekans geçirimli süzgeç etkisi sayesinde gürültüyü bastırması olarak açıklanabilir. Her ne kadar düşük SNR değerlerinde Bölüm 3.3.1'de görüldüğu üzere öbek eşleme yöntemlerinde hatasız sonuçlar elde edilemese de aradeğerleme ile birleştirme yöntemi sayesinde oluşan bu hataya rağmen istenilen nitelikte bir başarı elde edilmiştir.



Şekil 22: Oluşturulan çözüm yolu ve çiftdoğrusal aradeğerleme yönteminin farklı SNR değerlerindeki başarımlarının ölçümü

Şekil 23'de bina ve önündeki iskele resminde SNR değeri 25 dB olarak seçilerek görsel sonuçlar elde edilmiştir. Oluşturulan çözüm yolu ile çiftdoğrusal aradeğerlemeye göre daha başarılı sonuçların elde edildiği kırmızı ile işaretlenmiş olan bölgelerde net bir şekilde görülmektedir.

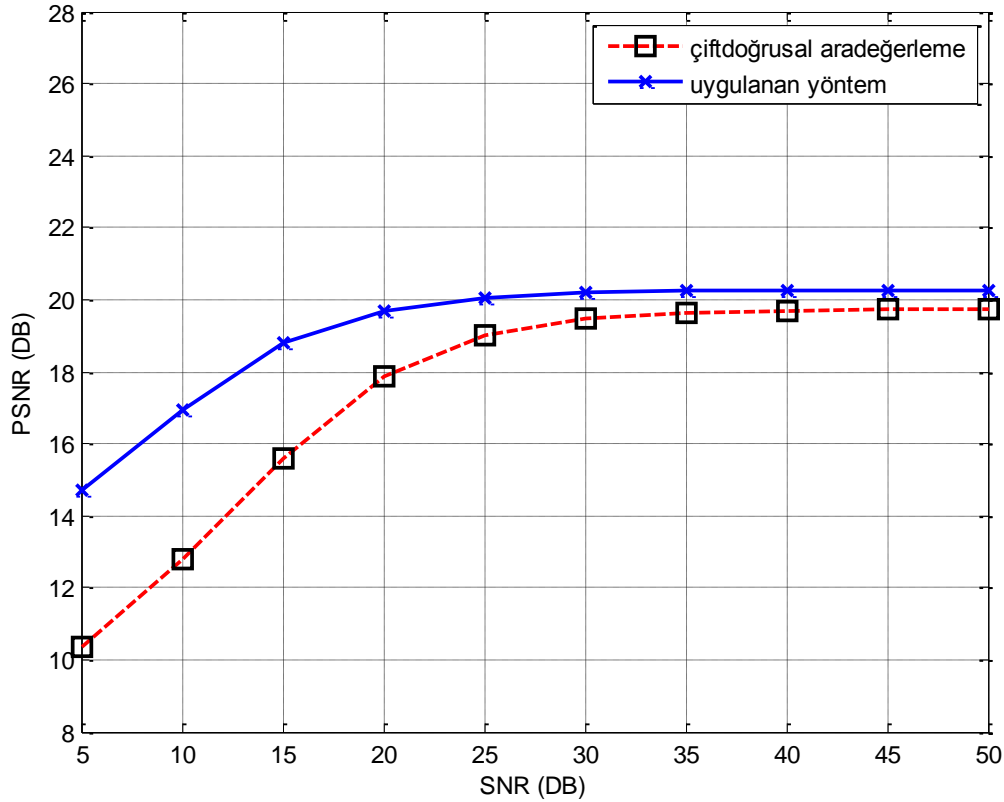


Şekil 23: Bina ve önündeki iskele (a) Gerçek resim, (b) Düşük çözünürlüklü resimden oluşturulan en yakın komşuluk ile aradeğerleme, (c) Çiftdoğrusal aradeğerleme, (d) Oluşturulan çözüm yolu

Bu çalışmanın ikinci kısmında ise video çerçevelerinde oluşan bulanıklığın başarımlar oranı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Burada yine tez kapsamında oluşturulan çözüm yolu ve çiftdoğrusal aradeğerleme yaklaşımı kullanılmıştır. Şekil 24'de görüldüğü üzere yine her SNR değerinde, oluşturulan çözüm yolu ile, doğrusal aradeğerleme yaklaşımı ile elde edilenden daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Resim çerçeveleri yüksek gürültü içerdiğinde ya da düşük SNR değerine sahip iken ve bulanıklık içerdiği durumda, oluşturulan çözüm yolu ile çiftdoğrusal aradeğerleme yaklaşımından çok daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Fakat resim çerçevelerindeki gürültünün az olduğu veya SNR değerinin yüksek olduğu ve bulanıklığın bulunduğu durumda, oluşturulan çözüm yolu ile çiftdoğrusal

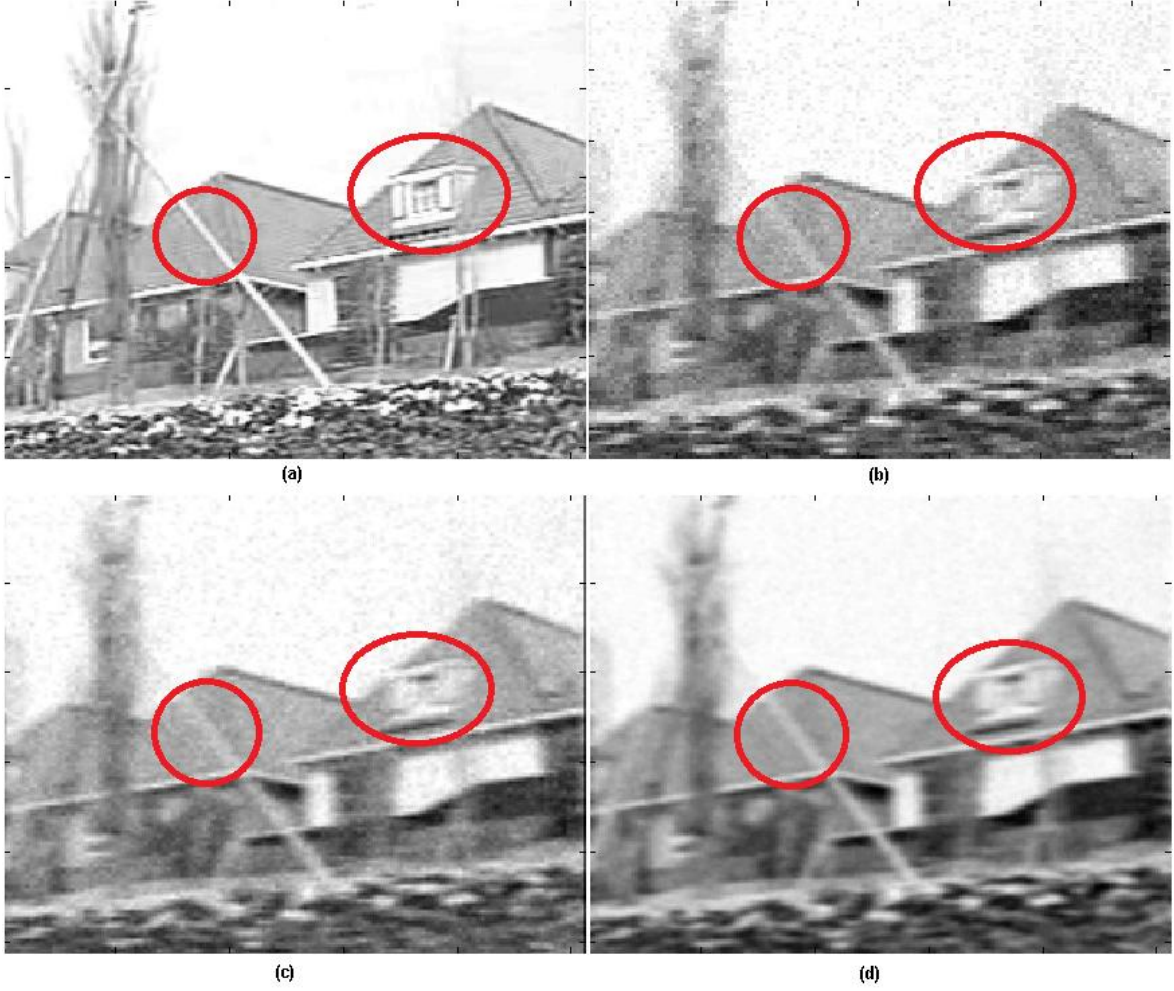
aradeğerleme yaklaşımından biraz daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Buradan, yüksek SNR değerlerinde ve resim çerçevelerinde bulanıklık olduğu durumda oluşturulan çözüm yolundan elde edilen başarımın çiftdoğrusal aradeğerleme yaklaşımına yaklaştığı görülmektedir.

Son olarak, bulanıklığın olmadığı durumda oluşturulan çözüm yolunun başarımı (PSNR değeri) çiftdoğrusal aradeğerleme yaklaşımından, SNR'ın 50 dB olduğu durumda, 1.35 dB yüksek iken, bulanıklığın olduğu durumda 0.53 dB yüksektir. Buradan, bulanıklık olduğu durumda, oluşturulan çözüm yolunun başarımının 0.82 dB düştüğü söylenebilir.



Şekil 24: Oluşturulan çözüm yolu ve çiftdoğrusal aradeğerleme yönteminin farklı SNR değerlerinde ve bulanıklık eklenerek yapılan başarım ölçümü

Evler ve çiçekler adlı resim üzerinden yapılan denemede SNR değerinin 30 dB olduğu ve bulanıklık içeren durumda Şekil 25'deki görsel sonuçlar elde edilmiştir.



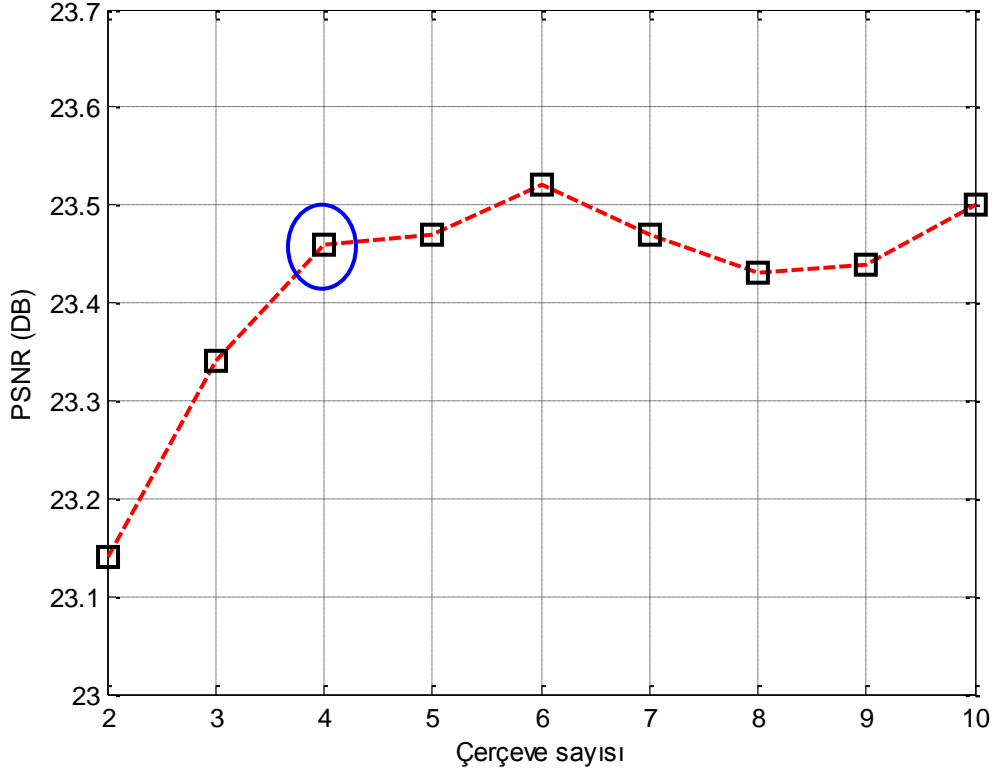
Şekil 25: Evler ve çiçekler (a) Gerçek resim, (b) Düşük çözünürlüklü resimden oluşturulan en yakın komşuluk ile aradeğerleme, (c) Çiftdoğrusal aradeğerleme, (d) Oluşturulan çözüm yolu

### 3.3.3 Düşük Çözünürlüklü Çerçeve Sayısının Belirlenmesi

Bu kısımda tez kapsamında oluşturulan çözüm yolunda YÇ resim oluşturmak için kullanılacak olan DÇ video çerçeve sayısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Burada yapılan çalışmada 2 ile 10 arasında değişen adetlerde resim çerçevesi kullanılarak ve oluşturulan çözüm yolu kullanılarak süperçözünürlük yöntemi koşturulmuştur. Bunun sonucunda elde edilen PSNR değerlerine göre Şekil 26'de görülen çizelge elde edilmiştir. Çalışma içerisinde kullanılan resim çerçevelerinin SNR değeri 25 dB olarak seçilmiştir.



Bu çalışmadan elde edilen çizelgede PSNR değerinin 4 adet çerçevenin kullanıldığı durumda 2 ve 3 çerçevenin kullanıldığı duruma göre yüksek olduğu ve 4'ten daha çok sayıda çerçeve kullanıldığında ise PSNR değerinin yaklaşık aynı değerlerde salınım yaptığı görülmüştür. Bu sonuca göre ve kullanılacak olan donanımdaki hafıza ve işlem yükü de göz önüne alınarak oluşturulan çözüm yolunda 4 adet çerçevenin kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 26: Çözüm yolunda kullanılması en uygun çerçeve sayısının belirlenmesi

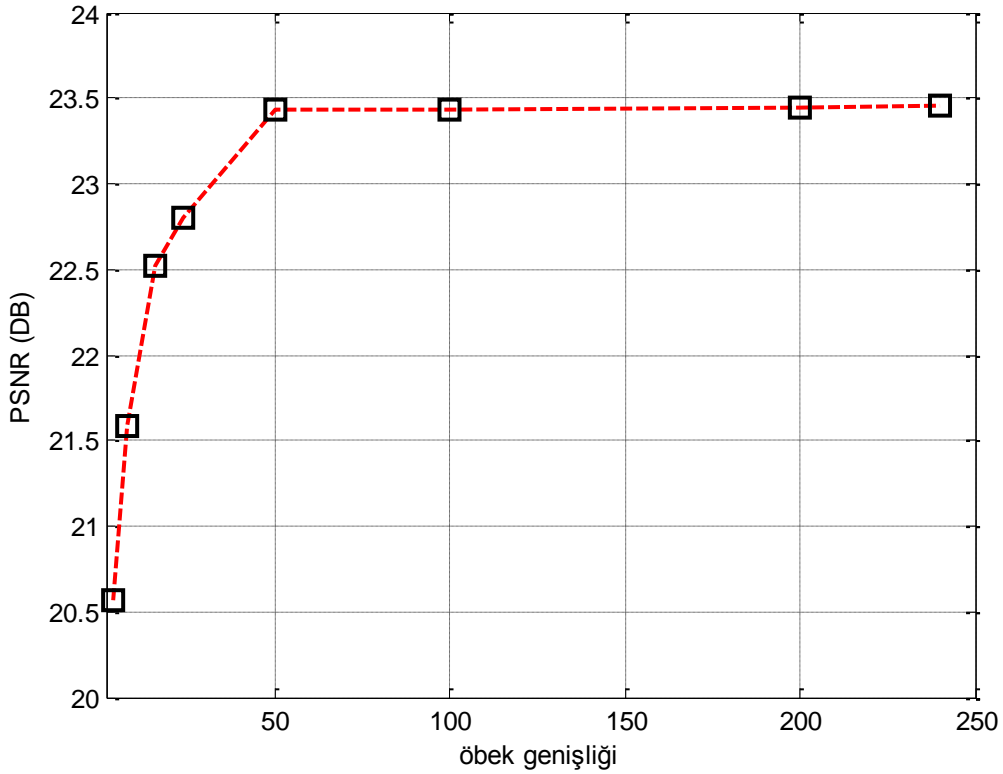
### 3.3.4 Öbek Boyutunun Belirlenmesi

Uygulamada kullanılan öbek eşleme yönteminin içerisindeki değişkenlerden biri de öbek boyutudur. Hareket kestiriminde, seçilecek olan öbek boyutuna göre arama işlemi gerçekleştirilecektir.

Tez kapsamında oluşturulan çözüm yolunda sadece öbek boyutu değiştirilerek elde edilen PSNR değerlerine göre oluşturulan çizim Şekil 27'de bulunmaktadır. Çözüm yolunda kullanılan öbek her iki kenarının da uzunluğu eşit olacak şekilde seçilmektedir. Çizimden görüleceği üzere 256×256 piksel boyutlarındaki resim

çerçevesi içerisinde öbek boyutları  $50 \times 50$  pikselden küçük seçildiği durumda düşük PSNR değerleri elde edilmektedir. Fakat öbek boyutları  $50 \times 50$  pikselden büyük seçilirse PSNR değeri etkilenmemekte ve sabit kalmaktadır.

Burada öbek boyutlarının  $50 \times 50$  piksel olarak seçilmesi yeterli olmasına rağmen çözüm yolunun videodaki bölgesel hareketlerden etkilenmemesi için olabildiğince geniş seçilerek öbek genişliği  $240 \times 240$  piksel olarak belirlenmiştir.



Şekil 27: Öbek eşleme yönteminde kullanılacak öbek boyutunun belirlenmesi

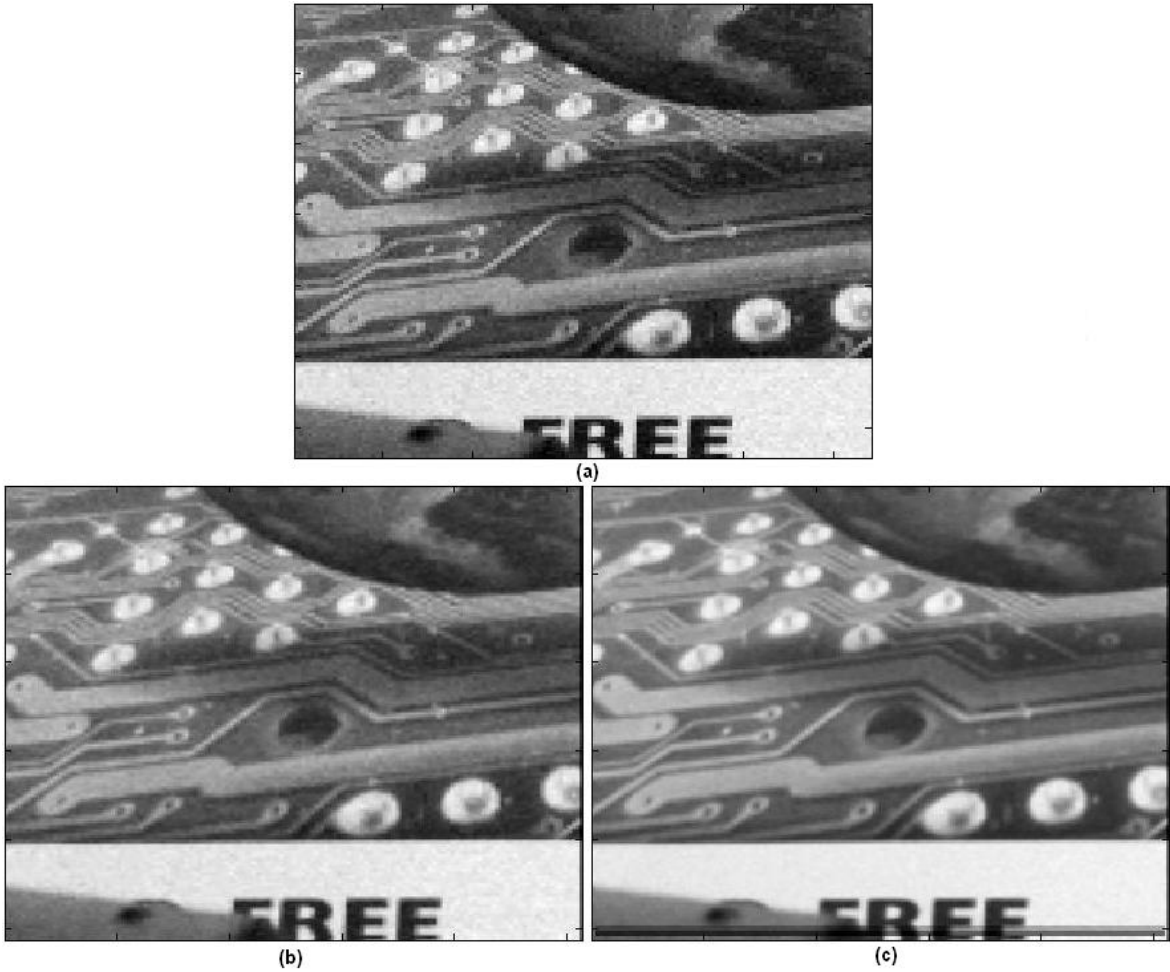
### 3.4 FPGA Yazılımının Test Edilmesi

Benzetim çalışmalarının son kısmında benzetim çalışmalarında oluşturulan çözüm yolu ile FPGA yazılımında oluşturulan çözüm yolu test edilmiştir. Yapılan bu testte FPGA yazılımı içerisine ".txt" uzantılı dosya ile DÇ resimler verilmiştir. Yazılımın çıkışında ise elde edilen YÇ çerçeve yine ".txt" uzantılı dosyaya konulmuştur. Elde edilen bu çerçeve ile aynı girdiler ile benzetim çalışmalarından elde edilen çerçeve karşılaştırılmış ve aynı resim çerçevelerinin elde edildiği görülmüştür.

### 3.5 Oluşturulan Çözüm Yolu Kullanılarak Yapılan Süperçözünürlük Uygulamaları

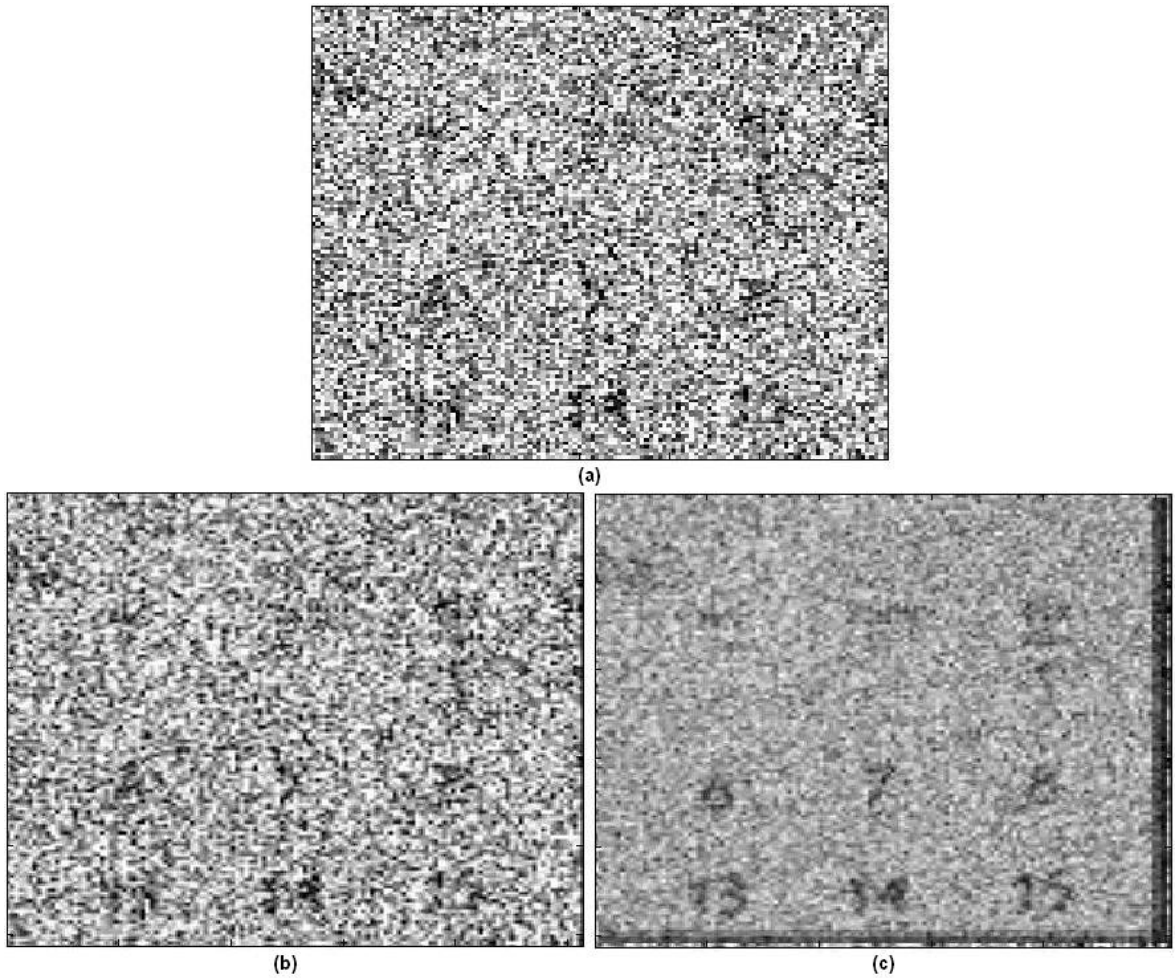
Farklı resimler üzerinde, oluşturulan çözüm yolu kullanılarak görsel sonuçlar elde edilmiştir. Aynı görüntüden arka arkaya elde edilen ve alt piksel hassasiyetinde kaymış dört adet resimden, oluşturulan çözüm yolu kullanılarak yüksek çözünürlüklü ve çekilen resimlerden daha net bir resim elde edilmiştir. Şekil 28, Şekil 29 ve Şekil 30'de bulunan resimlerden de anlaşılacağı üzere oluşturulan süperçözünürlük yöntemi ile çiftdoğrusal aradeğerleme yöntemine göre daha net görüntüler elde edilmiştir.

Şekil 28'te görülen resimlerde gürültünün eklenmediği durumda elde edilen sonuçlar görülmektedir. (c) kısmında bulunan çözüm yolu ile elde edilen resimde çizgilerin daha keskin ve detayların ayırt edilebilir olduğu görülmektedir.



Şekil 28: (a) Düşük çözünürlüklü resimden oluşturulan en yakın komşuluk ile aradeğerleme, (b) Çiftdoğrusal aradeğerleme, (c) Oluşturulan çözüm yolu

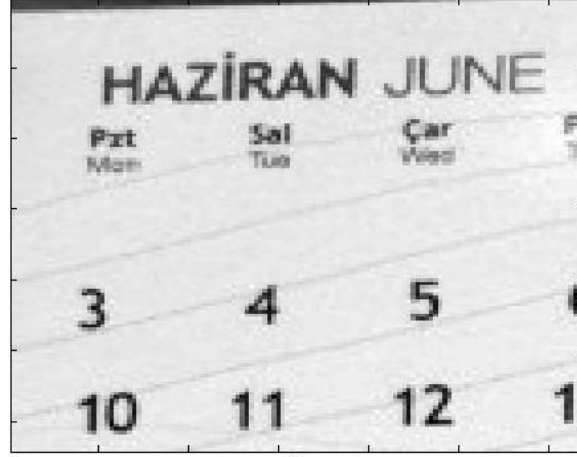
Bu kısımda bir takvim üzerinden alınan görüntü üzerinden çalışma yürütülmüştür. Yine kameradan arka arkaya alınan ve kayma içeren resim çerçevelerinden elde edilen sonuç resimleri Şekil 29'da bulunmaktadır. Burada elde edilen resimlere kameradan ötürü oluşan gürültüye ek olarak gürültü eklenerek SNR değerinin 10 dB olduğu durumda elde edilen sonuçlar görülmektedir. Oluşturulan çözüm yolu sonucunda gürültü nedeniyle okunamaz hale gelen rakamlar okunabilir hale gelmektedir. (c) resminde orta kısma yakın bulunan 6, 7 ve 8 rakamları ve en alt kısımda bulunan 13, 14 ve 15 rakamlarının okunabildiği görülmektedir.



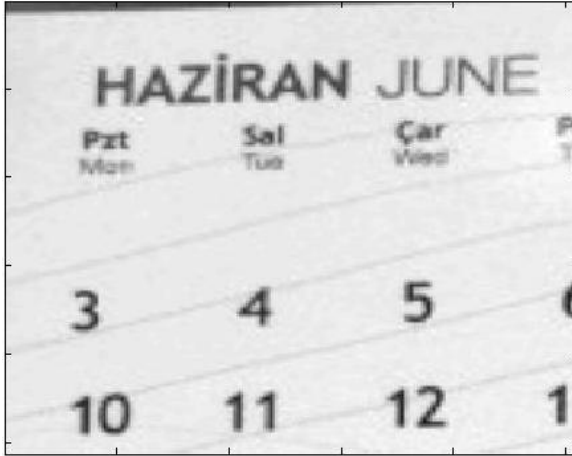
Şekil 29: (a) Düşük çözünürlüklü resimden oluşturulan en yakın komşuluk ile aradeğerleme, (b) Çiftdoğrusal aradeğerleme, (c) Oluşturulan çözüm yolu

Son kısımda ise yine takvim kullanılarak çalışma yürütülmüştür. Elde edilen görsel sonuçlar Şekil 30'de görülmektedir. Burada kameradan kaynaklanan gürültü haricinde elde edilen resimlerde herhangi bir gürültü bulunmamaktadır. Yine (c)'de

görülen resmin diğer resimlere göre daha net olduğu görülmektedir. Özellikle, küçük olarak yazılı bulunan Mon, Tue ve Wed yazılarının diğer resimlere göre daha rahat okunabilir olduğu görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 30: (a) Düşük çözünürlüklü resimden oluşturulan en yakın komşuluk ile aradeğerleme, (b) Çiftdoğrusal aradeğerleme, (c) Oluşturulan çözüm yolu

## 4. UYGULAMANIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Oluşturulan çözümler yolunda kameradan en son alınan dört adet 128x128 boyutunda siyah-beyaz resim çerçevesi kullanılmıştır. Bu dört adet resim hafıza birimlerine ilk giren ilk çıkar (FIFO) Şeklinde kaydedilmektedir ve çok girişli tek çıkıŐlı bir Şekilde (MISO) iŐlenmektedir.

### 4.1 Donanımın Oluşturulması

GeliŐtirilen altyapı genel olarak, elde edilen düşük çözünürlüklü video çerçevelerinin gerçek zamanlı olarak süperçözünürlük yönteminin kullanılması ile çözünürlüğünün arttırılarak görüntünün netleştirilmesini kapsamaktadır.

Kurulan düzenele giriş video çerçevelerini bağlı olan kameradaki görüntü sensörü vasıtasıyla VGA (640x480) formatında ve siyah-beyaz olarak almaktadır. Sonrasında arka arkaya ve sürekli olarak alınan bu çerçeveler bellek birimleri de kullanılarak FPGA üzerinde koŐturulan algoritma ile gerçek zamanlı olarak iŐlenmektedir. Son aşama olarak da iŐlenmiŐ olarak elde edilen video çerçeveleri sürekli olarak, düzeneğin çıkışına bağlı bulunan monitöre verilmektedir.

#### 4.1.1 Seçilen Altyapıda Kullanılan Alt Birimler

Donanımın gerçekenmesi, içerisinde FPGA, giriş-çıkış birimleri ve ilgili bağlantıları bulunduran bir demo kart takımı kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan düzenele ana hatları ile Şekil 31'te verilmiştir.

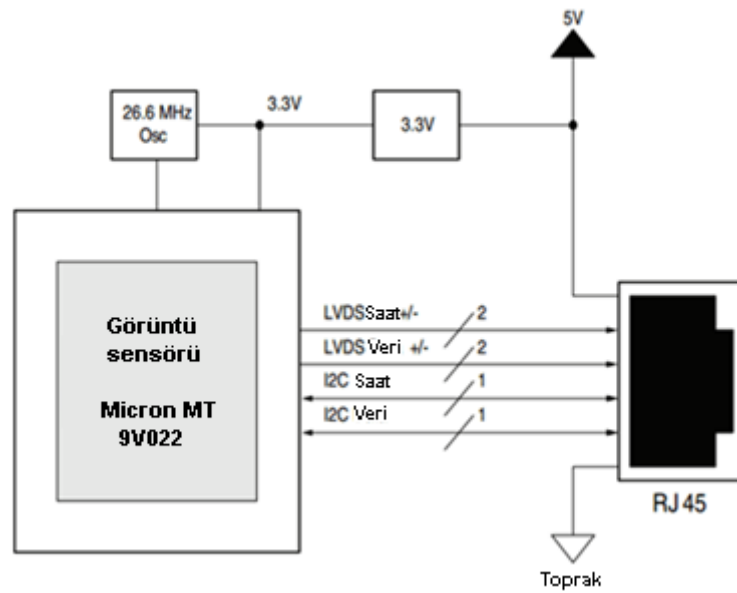




Şekil 32: Giriş, video işleme ve çıkış birimleri

#### 4.1.1.1 Giriş Birimi

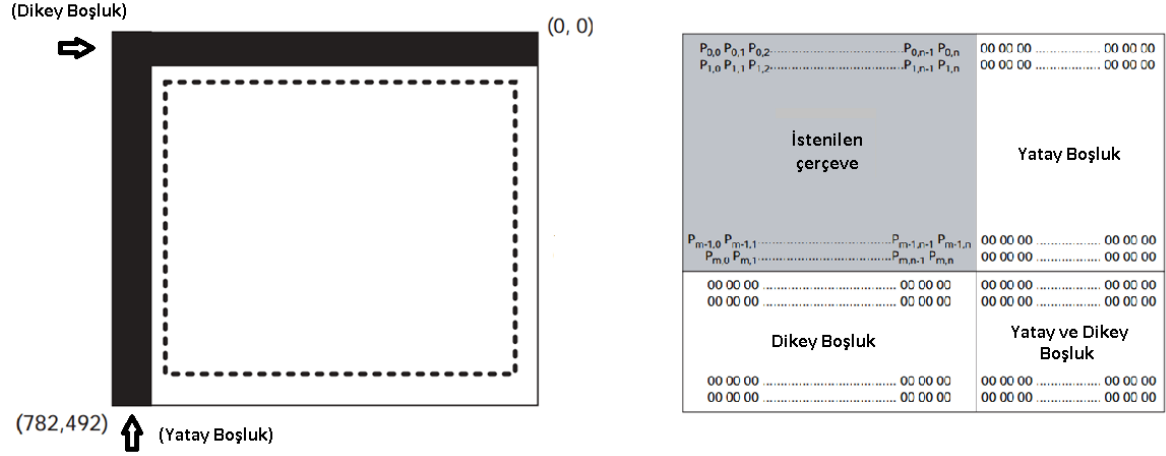
Giriş kısmında öncelikle Şekil 32'nin giriş kısmında görülen VGA kamera yardımıyla görüntü alınmaktadır. Görüntünün alınabilmesi için öncelikle bu kameranın içerisinde bulunan görüntü sensörünün ayar değişkenlerinin ayarlanması gerekmektedir. Öncelikle, daha fazla giriş-çıkış birimi arasında haberleşmeye imkan sağlayan bir çok düzeyli birleştirici yardımıyla I2C seri haberleşme yapısı kullanılarak entegre içerisinde bulunan hafıza birimlerine istenilen ayarlar girilmiştir. Bu ayarlar video çıkışının dizi şeklinde alınması, saat ayar verileri ve alınacak olan videonun yatay-dikey pencere ayar değişkenleri gibi bilgileri içermektedir. Şekil 33'de girişteki kameranın veya görüntü sensörünün bir gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 33: VGA kamera birimi

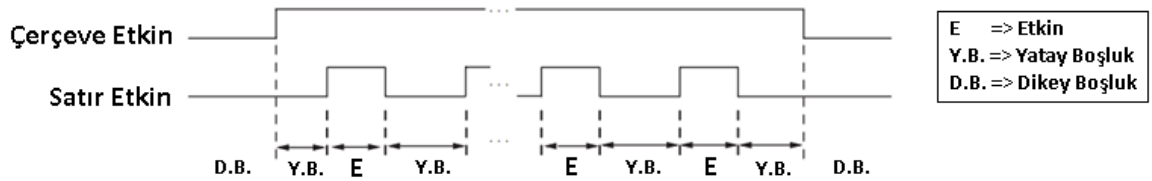


Ayar değişkenleri belirlenerek video çerçevesinin yatay uzunluğu 640, dikey uzunluğu ise 480 olarak ayarlanmıştır. Sonuç olarak ise kameradan kademeli olarak ilerleyen 640x480 piksel boyutunda, saniyede 60 çerçeve alınarak VGA düzeninde siyah-beyaz olmak üzere sürekli bir video elde edilmiştir. Elde edilen çerçeve boyutları ve boşluk kısımları Şekil 34’de verilmiştir.



Şekil 34: Çerçeve boyutlarının belirlenmesi

Dizi şeklinde alınan çerçeve bilgilerinin etkin veya boşluk kısımlarının zaman ekseninde gösterimi Şekil 35’de bulunmaktadır.



Şekil 35: Çerçeve bilgilerinin dizi halinde gösterimi

Kameradan alınan dizi şeklindeki görüntü ve saat verileri FMC-Video yardımcı karta aktarılır. Bu kart üzerinde öncelikle diziden paralele dönüştürücü entegre sayesinde piksel değerleri 8 bitlik paralel bir yapıya dönüştürülür. Buradan da FMC konektör yoluyla piksel, etkinlik ve saat bilgileri video işleme birimi olan FPGA entegresine aktarılır.

#### 4.1.1.2 Video İşleme Birimi

Giriş bölümündeki FMC konektöründen sürekli olarak alınan VGA düzenindeki video FPGA entegresi ile alınmaktadır. Burada 8 bitlik siyah-beyaz piksel değerleri, etkinlik ve saat işaretleri ile birlikte video işleme biriminin girdi kısmını oluşturmaktadır.

Bu işlem birimi öncelikle giriş ve çıkış birimlerinde bulunan görüntü sensörü ve DVI çıkış entegresindeki ayar değişkenlerini I2C seri haberleşme yapısı kullanarak ilgili entegrelerin hafıza birimlerine kaydetmektedir. Sonrasında ise gelen video çerçevelerini içerisinde bulunan algoritma ile işleyerek elde edilen video çerçevelerini çıkış birimine aktarmaktadır.

Video işlem birimi içerisinden öncelikle, alınan görüntüden  $128 \times 128$ 'lik bir çerçeve kesilerek bu birim içerisinde oluşturulmuş olan Rastlantısal Erişim Hafızası (RAM) hafıza birimlerine kaydedilmektedir. Burada alınan çerçeveler hafızaya ilk giren ilk çıkar (FIFO) kuralı ile sürekli olarak kaydedilmektedir. Kaydedilen bu resimler oluşturulmuş olan algoritmanın bulunmuş olduğu birimden geçirilerek çıkışa verilmektedir.

Algoritma çıkışında elde edilen  $256 \times 256$ 'lık görüntü DVI çıkış entegresine doğrudan verilememektedir. Bunun için FPGA içerisinde çıkış entegresi sürüş bölümü oluşturulmuştur. Burada, elde edilen video çerçeveleri DVI çıkış entegresinde seçilen biçime uygun şekilde hazırlanarak entegrenin çıkışına verilmektedir.

#### 4.1.1.3 Çıkış Birimi

Video işleme biriminin oluşturmuş olduğu yüksek çözünürlüklü video görsel olarak bir ekran üzerinden görülebilmektedir. Çıkış birimine bağlı olan bu ekran demo kartın çıkış kısmında bulunan DVI sürüş entegresi tarafından beslenmektedir. Bu entegre hem analog VGA video çıkışını desteklemektedir hem de sayısal DVI video çıkışını desteklemektedir. Bu sayede çıkıştaki video biçimi girişteki VGA kamera ile uyumlu olması açısından yine VGA olarak seçilebilmiştir.

Kurulmuş olan düzeneğin çıkış kısmında, oluşturulan 256x256 piksel boyutundaki yüksek çözünürlüklü video DVI sürücü entegresinden geçirilerek DVI konektörüne aktarılmaktadır. Çıkıştaki video VGA biçiminde olduğu için bu kısma DVI'dan VGA'ya çevirici aparat takılmaktadır. Sonrasında ise VGA kablosu bağlanarak VGA destekli bir monitörden yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmektedir.

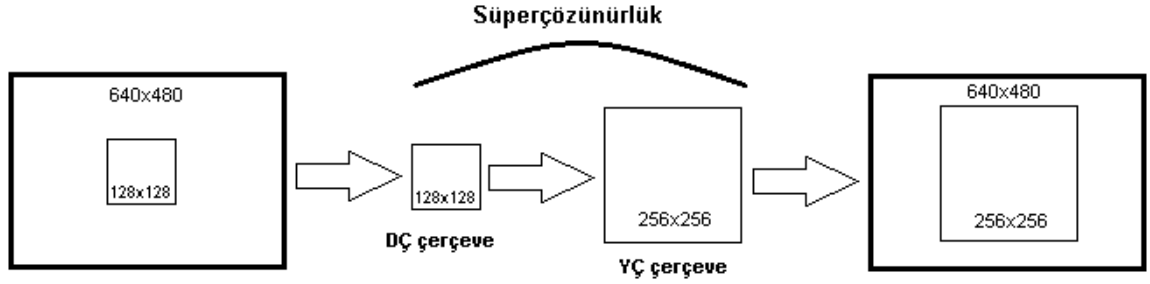
Video işleme biriminin en başında I2C seri haberleşme yoluyla çıkış entegresi içerisindeki hafıza birimlerine gerekli ayar değişkenleri girilmektedir. Bu değişkenler saat bilgisi, veri besleme biçimi ve VGA video ile ilgili bilgileri içermektedir.

DVI sürücü entegresi video verilerini renkli olarak işlemektedir. Burada beş farklı seçenek halinde renklendirme biçimi ve renk tonlama detayı seçilebilmektedir. Giriş kısmındaki kameradan 8 bitlik renk tonlaması ile video alındığı ve video işleme biriminde de 8 bit halinde işlendiği için üç farklı renk kanalına sahip ve 8'in katı olarak RGB biçiminde 24 bitlik renk tonlaması tercih edilmiştir. Burada her renk kanalı 8 bit ile temsil edilmektedir.

Elde edilen siyah-beyaz videonun monitörde gösterilebilmesi için RGB renklendirme biçimine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm renk sistemi eklemeli bir şekilde olduğu için kolayca yapılabilir. Kırmızı, yeşil ve mavi renklerinin aynı tonda karıştırıldığında her renk aynı oranda karıştırıldığından sonuçta nötr bir renk elde edilecektir. Bu nötr renk, oluşturulan tonlama değerlerine göre siyahtan beyaza kadar olan gri tonlama şeklinde kendini göstermektedir.

Bu yöntem ile video işleme biriminin çıkış kısmında oluşturulan RGB biçimindeki 24 bitlik piksel değerleri bir piksel zamanı ikiye bölünerek 12'şer bitlik iki kademe halinde DVI çıkış entegresine verilmektedir. Burada piksel değeri, 24 bitlik bir bütün halinde entegre içerisinde bulunan sayısal analoga çevirici alt birime aktarılır ve buranın çıkışından analog olarak üretilmiş üç ayrı renk kanalı DVI konektörden geçerek videonun gösterileceği monitöre ulaştırılmış olur.

Şekil 36'da giriş biriminden çıkış birimine kadar görüntünün işlenişi görsel olarak anlatılmaktadır.



Şekil 36: Düşük çözünürlüklü çerçeveden yüksek çözünürlüklü çerçeve elde edilmesi

## 4.2 Yazılımın Oluşturulması

Video işleme uygulamalarında çok yüksek veri hızına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu uygulamalarda da genellikle Sayısal İşaret İşleme (DSP) veya FPGA yapıları kullanılmaktadır. Bu iki işlem yapısının en temel farkı DSP işlemcilerin ardışık işlem yapısına sahip olması, FPGA işlem birimlerinin ise paralel işlem yapabilme yeteneğinde olmasıdır. FPGA yapılarının paralel işlem yapabilme yeteneği sayesinde pek çok işlem eşzamanlı ve hızlı bir şekilde yürütülebilmektedir. DSP işlemciler hassas olarak, kayan noktalı değerler ile işlem yapabiliyorken FPGA işlem yapıları sadece sabit noktalı değerler ile işlem yapabilmektedir. DSP işlemciler üzerinde geliştirme çalışmaları daha kolay ve hızlı bir biçimde yapılabiliyorken FPGA işlem birimlerinde daha karmaşık ve zahmetli bir şekilde yapılabilmektedir. Paralel işlem yapılabilmesi ve daha hızlı olması açısından tez kapsamında yapılacak olan uygulama için tercih edilen donanım FPGA işlemci ünitesi içerecek şekilde seçilmiştir [24].

FPGA işlemcileri Donanım Tanımlama Dili (HDL) veya şematik yapılar kullanılarak programlanabilmektedir. En yaygın olarak kullanılan donanım tanımlama dillerinin Çok Yüksek Hızlı Tümleşik Devrelerin Donanım Tanımlama Dili (VHDL) ve Verilog olduğu söylenebilmektedir. Bu tez içerisinde kullanılan işlemcinin programlanmasında VHDL programlama dili kullanılmıştır.

Donanımın içerisinde bulunan giriş ve çıkış birimleri tamamen bu işlemci birimi ile kontrol edilmektedir. Giriş kısmından alınan video çerçeveleri bu işlemci içerisinde işlenerek çıkışa doğru aktarılmaktadır.

Temin edilen donanımın içerisinde Xilinx firmasının Spartan-3A XC3SD3400A tipinde bir FPGA bulunmaktadır. Bu FPGA içerisinde kullanıma hazır bulunan 2268 Kbit boyutunda Blok RAM bulunmaktadır. Çizelge 2’de, tez kapsamında oluşturulan donanımda kullanılan FPGA’in içerisinde bulunan çeşitli kaynakların kullanım miktarları ve oranları verilmektedir.

Çizelge 2: FPGA’in kaynak kullanım miktarları

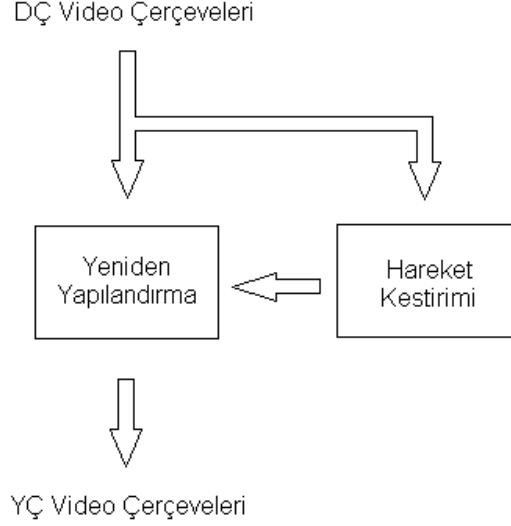
Kaynak Tipi	Kullanım Miktarı	Kaynak Miktarı	Kullanım Yüzdesi
Mantık Dilimi	1930	23872	%8
Yazboz	1377	47744	%2
4 Girişli Taramalı Tablo	3361	47744	%7
Bağlı Giriş-Çıkış Tamponu	72	469	%15
Öbek RAM	84	126	%66
Tümden Saat İşareti	6	24	%25
Sayısal Saat Yöneticisi	2	8	%25

FPGA entegresinin görevi en genel anlamda, alınan giriş veri ve işaretlerini çıkışa işenmiş bir şekilde aktarmaktır. Burada girişten alınan ve çıkışa verilen işaretlerin ana hatlarıyla neler olduğundan kısaca bahsedebiliriz.

Giriş kısmından temel olarak saat işaretleri ve kameradan gelen veriler alınmaktadır. I2C seri haberleşmede kullanılacak saat işareti kartın üzerinde bulunan saat üreticinden temin edilmektedir. Bu işaret iç kısımda sıklığı azaltılarak entegreler arası seri haberleşmede kullanılmaktadır. Kameradan gelen veriler ise piksel değişim hızında saat işareti, piksel değeri ve görüntünün etkinlik işaretleridir.

Çıkış bölümünde, kullanılacak olan entegrelerin ayar bilgilerinin girilmesi için I2C işaretleri, VGA monitörün bağlandığı DVI entegresini süren saat, etkinlik ve veri işaretleri kullanılmaktadır.

İlerleyen bölümlerde, benzetim çalışmaları yardımıyla oluşturulan çözüm yolu kullanılarak gerçekleştirilen FPGA yazılımı anlatılacaktır. Şekil 37'de FPGA yazılımında oluşturulan alt kısımlar görsel olarak gösterilmektedir.



Şekil 37: FPGA yazılımının alt bölümleri

#### 4.2.1 Hareket Kestirimi

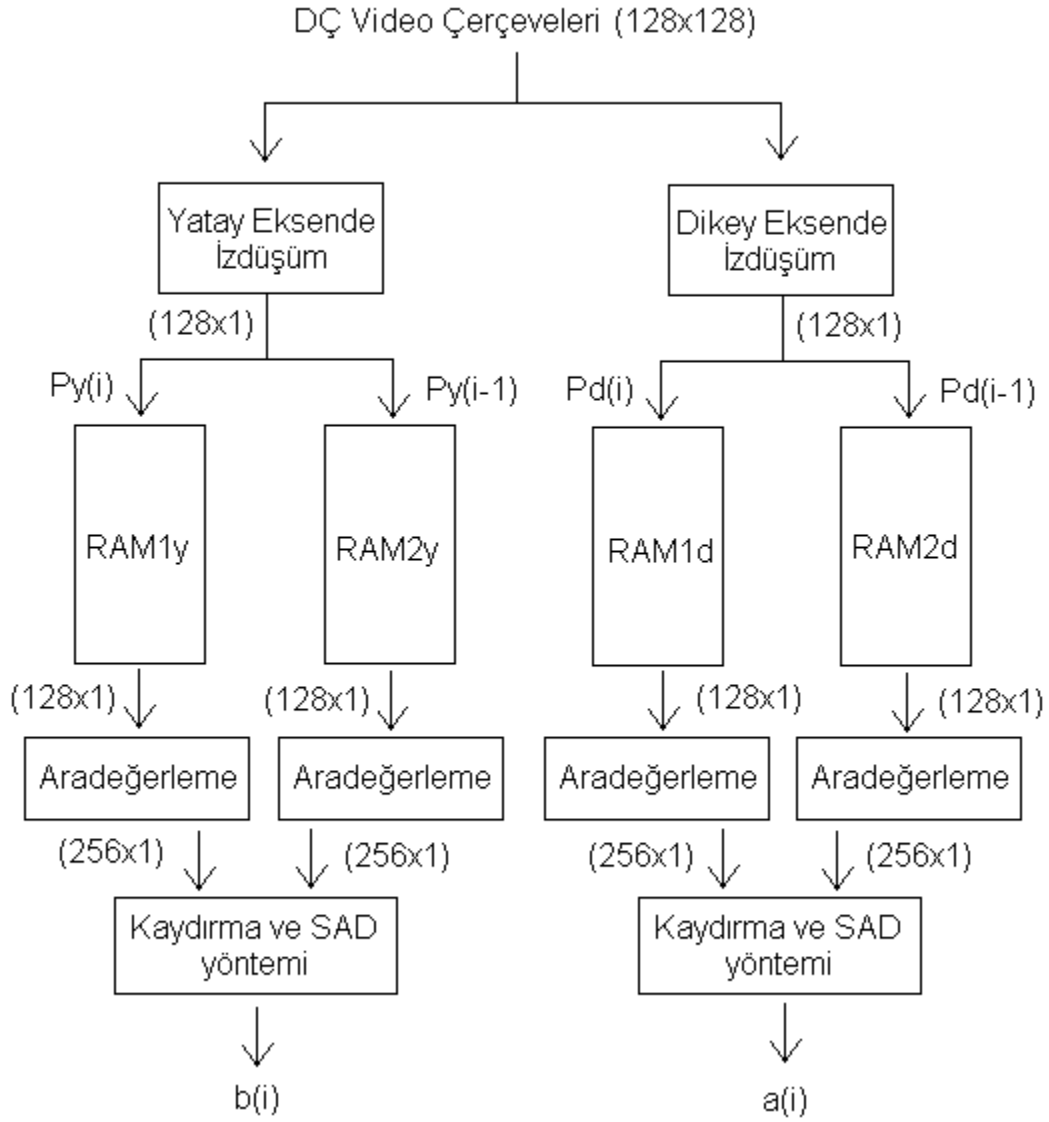
Bu kısımda benzetim çalışmalarında belirlenen hareket kestirimi yöntemi olan öbek eşleme yaklaşımının FPGA içerisinde nasıl oluşturulduğu anlatılacaktır.

Benzetim çalışmalarında belirlenen değişken değerleri kullanılarak integral ile izdüşüm yaklaşımı VHDL kodu kullanılarak oluşturulmuştur.

Hareket kestirimi kısmında öncelikle  $640 \times 480$  boyutundaki resim çerçeveleri, FPGA içerisindeki öbek RAM hafızasının yetmeyeceği için, kırılarak  $128 \times 128$  boyutundaki resim çerçeveleri çözüm yoluna dahil edilmiştir. Alınan bu DÇ resim çerçevelerinin yatay ve dikeyde, eşzamanlı olarak izdüşüm vektörleri oluşturulmuştur. Oluşturulan yatay ve dikey izdüşümlerin kaydedilmesi amacıyla RAM hafıza yapıları kullanılmıştır. İki adet resim çerçevesinin hareket kestirimini yapılabilmesi için her bir çerçevenin izdüşüm vektörlerinin kaydedilmesi gerekmektedir. Bunun için de 4 adet RAM kullanılmıştır. Her yeni çerçeve geldiğinde eski izdüşümün bulunduğu RAM yapılarının içerisine yeni gelen çerçevenin izdüşüm bilgileri yazılmaktadır.

Kaydedilen  $128 \times 1$  boyutundaki yatay ve dikey izdüşüm vektörleri, 0.5 piksel hassasiyetinde alt piksel hareketlerini kestirebilmek için aradeğerleme yapılarak  $256 \times 1$  boyutuna yükseltilir. Buradan da izdüşüm vektörleri yatayda ve dikeyde ayrı ayrı olarak tanımlanan aralık değerlerinde kaydırılıp SAD yöntemi ile hatanın en az olduğu kayma değeri bulunarak çıkışa doğru verilmektedir. Şekil 38'de FPGA'da oluşturulan hareket kestirimi yönteminin görsel bir anlatımı bulunmaktadır.

Hareket kestiriminin 0.5 piksel hassasiyetinde yapılmasının sebebi, oluşturulan çözüm yolunda  $128 \times 128$  piksel boyutlarındaki düşük çözünürlüklü resim çerçevelerinin 0.5 piksel kaydırılarak  $256 \times 256$  piksel boyutlarında yüksek çözünürlüklü resim çerçevesinin elde edilecek olmasıdır.



Şekil 38: Hareket kestirimi

#### 4.2.2 Yeniden Yapılandırma

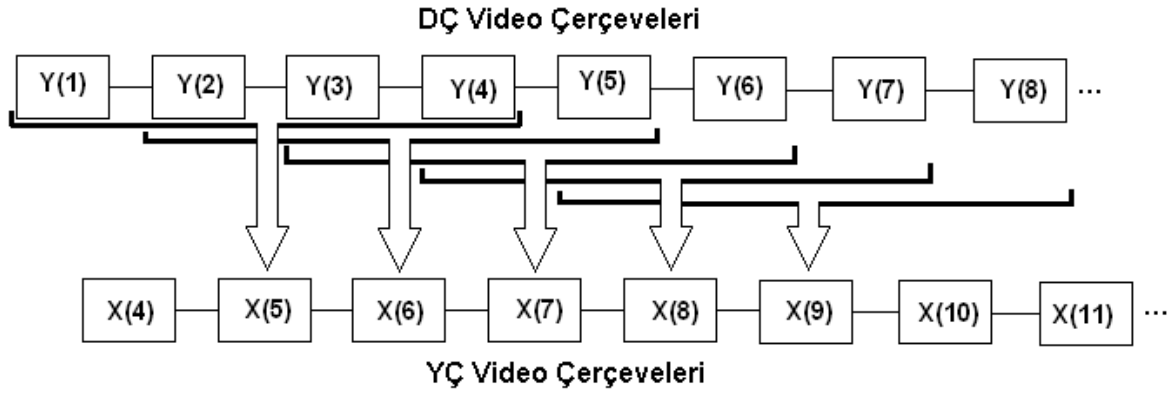
Yeniden yapılandırma işleminde düşük çözünürlüklü video çerçeveleri ve yatay-dikey hareket kestirimi değerleri girdi olarak alınmaktadır.

Öncelikle, alınan düşük çözünürlüklü video çerçeveleri Bölüm 4.2.1’de olduğu gibi 128x128 boyutunda resim çerçeveleri elde etmek için kırılmaktadır.

Bu kısımda 5 çift RAM kullanılmaktadır. Kaydedilen DÇ resim aradeğerleme kısmında kullanılmak üzere aynı anda iki RAM’e de kaydedilmektedir. Her yeni



gelen resim çerçevesi en eski çerçevenin kaydedildiği RAM çiftinin üzerine yazılır. RAM yapılarına aynı anda hep yazılıp hem de okunmadığı için en eski çerçevenin kayıtlı olduğu RAM çifti yapılan hesaplamalarda kullanılmaz, sadece yeni çerçevenin kaydedilmesi amacıyla kullanılır. Böylece elimizde işlem yapabileceğimiz 4 adet resim çerçevesi kalmış olur. Buradan anlaşılacağı üzere son kaydedilen çerçeve hesaplama dahil edilemediği için çıkıştaki video bir çerçeve gecikmeli olarak görülebilecektir. Saniyede 60 adet YÇ görüntü çerçevesi oluşturulduğundan bir adet YÇ resim çerçevesi oluşturmak için gerekli işlem süresinin yaklaşık olarak 16.66 ms olduğu söylenebilir. Şekil 39'da ardışık YÇ video çerçevelerinin ardışık DÇ video çerçevelerinden elde edililişinin gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 39: Ardışık 4 adet DÇ video çerçevelerinden ardışık YÇ video çerçevelerinin oluşturulması

RAM'lere kaydedilmiş olan 4 adet resim çerçevesinin kaydırma işlemi öncesinde çiftdoğrusal aradeğerleme ile çözünürlüğü arttırılmaktadır. Hareket kestirimi kısmından gelen hareket bilgileri de ara bir bellekte tutularak her yeni çerçeve geldiğinde güncellenecek şekilde üç adet hareket bilgisi elde edilir. Sonuç olarak da elde edilen bu 3 hareket bilgisine göre çözünürlüğü arttırılmış çerçeveler kaydırılarak alt piksel hassasiyetinde örtüştürüldükten sonra her pikselin ortalaması alınarak çıkışa verilecek olan YÇ video çerçevesi elde edilmiş olur.

Yapılan bu anlatım denklemler ile aşağıdaki şekilde ifade edilebilir. Çözünürlüğü arttırılmış olan çerçeveler (**Y**) hareket kestirimi değerleri ile istenilen şekilde kaydırılmaktadır. Sonuçta ise YÇ (**X**) çerçeve elde edilmektedir.

$$\mathbf{X}(i) = \frac{\mathbf{Y}(i-1) + \mathbf{Y}_{a(i),b(i)}(i-2) + \mathbf{Y}_{a(i-1),b(i-1)}(i-3) + \mathbf{Y}_{a(i-2),b(i-2)}(i-4)}{4} \quad (4.1)$$

Yukarıda görüldüğü üzere 4 adet çerçeve hizalanarak YÇ resim oluşturulmaktadır. Aradeğerleme yapılan çerçevelerdeki pikseller aşağıdaki gibi kaydırılarak hizalanan çerçeveler elde edilir.

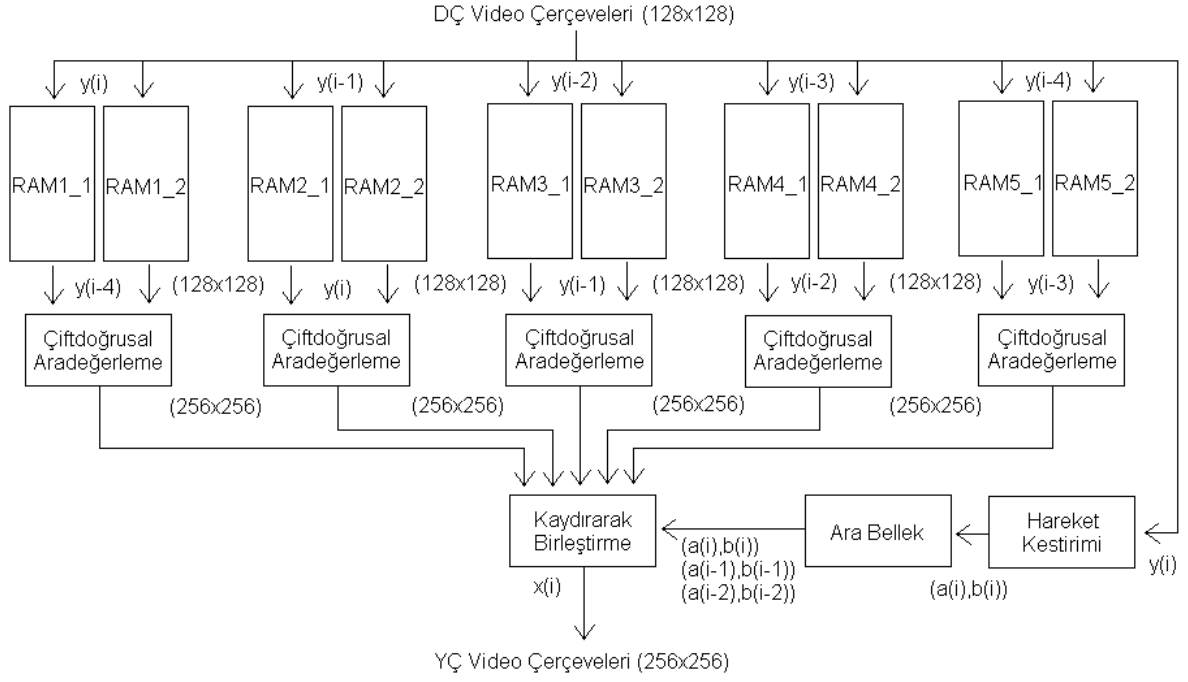
$$Y_{a(i),b(i)}(m,n,i-2) = Y(m+a(i),n+b(i),i-2) \quad (4.2)$$

$$Y_{a(i-1),b(i-1)}(m,n,i-3) = Y(m+a(i-1),n+b(i-1),i-3) \quad (4.3)$$

$$Y_{a(i-2),b(i-2)}(m,n,i-4) = Y(m+a(i-2),n+b(i-2),i-4) \quad (4.4)$$

Burada  $Y(m,n,i-1)$  çerçevesinin hesaplanması gösterilmemiştir. Çünkü diğer 3 çerçeve bu çerçeve üzerine denk gelecek şekilde kaydırıldığı için bu çerçeve değiştirilmemiştir. 4 adet çerçeve aynı hizaya getirildikten sonra aşağıdaki eşitlik ile, kaydırılan tüm piksel değerlerinin ortalaması alınarak Yüksek çözünürlüklü resim oluşturulmuş olur. Daha biçimsel bir ifade ile (4.1) numaralı denklem aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$X(x,y,i) = \frac{Y(x,y,i-1) + \sum_{k=2}^4 Y_{a(i+2-k),b(i+2-k)}(x,y,i-k)}{4} \quad (4.5)$$



**Şekil 40: Yeniden Yapılandırma**

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Tez kapsamında, giriş kısmındaki kameradan alınan düşük çözünürlüklü, gürültü ve bulanıklık içeren gerçek zamanlı videonun FPGA içerisinde yine gerçek zamanlı olarak çözünürlüğü artırılarak, gürültüsü ve bulanıklığı azaltılmış bir şekilde çıkışta bulunan ekrana daha net bir video olarak yansıtıldığı bir yapı tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

Benzetim çalışmaları kısmında gerçek zamanlı uygulama içerisinde kullanılacak olan yöntemler belirlenmiş, çiftdoğrusal aradeğerleme yöntemine göre elde edilen resim çerçevelerinin PSNR değerlerine göre başarımlar ölçümü yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yine benzetim çalışmaları ile, oluşturulan çözüm yolunda kullanılan değişkenler belirlendikten sonra VHDL programlama dili kullanılarak gerçek zamanlı video işleme yeteneğinde FPGA yazılımı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu FPGA yazılımı benzetim çalışmalarında oluşturulan çözüm yolu ile test edilmiştir ve her iki yazılımdan da aynı giriş çerçeveleri kullanıldığında aynı piksel hassasiyetinde çıkış çerçevelerinin elde edildiği görülmüştür.

Donanımın gerçekleştirilmesinde düşük maliyet yaklaşımı ile bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Hareket kestirimi ve yeniden yapılandırma yöntemlerinin ve işlem biriminin seçimi bu yaklaşım göz önüne alınarak yapılmıştır. Çok yüksek işlem yeteneğine sahip işlem birimi ve bu işlem biriminin içerisinde çok karmaşık yöntemler koşturulabilmektedir. Fakat bu, oluşturulan sistemin maliyetini çok fazla arttırmaktadır.

### 5.2 Öneriler

Burada oluşturulan yöntem içerisinde daha düşük maliyetli olan çiftdoğrusal aradeğerleme yaklaşımı araç olarak kullanılmış olup başarımlar ölçümü de bu yaklaşım temel alınarak yapılmıştır. İleride yapılacak olan çalışmalarda da daha

karmaşık olan aradeğerleme yöntemleri kullanılarak elde edilen başarımları ölçümleri araştırılabilir.

Bu tez içerisinde görüntünün sabit kameranın ise hareketli olduğu veya alınan görüntünün tümünden hareket ettiği kameranın ise sabit kaldığı durumlarda süperçözünürlük gerçekleştirildiği için uygulanan yöntemde sadece iki boyutta hareket kestirimi yapılarak iki çerçeve arasındaki görüntü değişimi kestirilmektedir. İleride yapılacak olan çalışmalarda dönme, yakınlaştırma ve eğrilme etkisi gibi çerçeveler arasındaki değişimlerin kullanıldığı süperçözünürlük yöntemleri incelenebilir.

Yine başka bir çalışma olarak bölgesel hareketlerin bulunduğu durumlarda uygulanan gerçek zamanlı bir uygulama çalışması yapılabilir.

Son olarak, yapılan çalışmaya renk boyutu da eklenerek elde edilen renkli video çerçevelerinin iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Gaidhani, P., Super-resolution, [http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL\\_COPIES/AV1011/Super\\_Resolution\\_CVonline.pdf](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/AV1011/Super_Resolution_CVonline.pdf) (2011)
- [2] Park, S. C., Park, M. K., Kang, M. G., Super-Resolution Image Reconstruction A Technical Overview, *IEEE Signal Processing Magazine*, Mayıs, **2003**
- [3] Farsiu, S., Elad, M., Milanfar, P., Multiframe Demosaicing and Super-Resolution, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, no. 1, Ocak, **2006**
- [4] Madhusudhan, T., Pais, A.R., Generation of super-resolution video from low resolution video, *International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications*, **2007**
- [5] Santoro, M., *Valid Motion Estimation For Super-Resolution Image Reconstruction*, Doktora Tezi, School of Electrical and Computer Engineering Georgia Institute of Technology, **2012**
- [6] Borman, S., *Topics in multiframe superresolution restoration*, Doktora Tezi, University of Notre Dame, Indiana, **2004**
- [7] Anagün, Y., Seke, E., Super Resolution Using Variable Size Block-Matching Motion Estimation With Rotation, 978-1-4673-1448-0/12/\$31.00 *IEEE*, **2012**
- [8] Ebrahimi, M., Vrscay, E. R., Multi-frame super-resolution with no explicit motion estimation, *IPCV Submission*, **2008**
- [9] Bui-Thu, C., Do-Hong, T., Le-Tien, T., Nguyen-Duc, H., Scene-Based Video Super-Resolution with Minimum Mean Square Error Estimation, *International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2011)*, 48-52, **2011**
- [10] Su, K., Introduction to image super-resolution, [http://www.cs.utsa.edu/~qitian/seminar/Fall04/superresolution/SR\\_slides\\_xsu.pdf](http://www.cs.utsa.edu/~qitian/seminar/Fall04/superresolution/SR_slides_xsu.pdf) (2004)
- [11] Bartesaghi, A., Sprechmann P., Randall G., Sapiro, G., Subramaniam, S., Classification, Averaging and Reconstruction of Macromolecules in Electron Tomography, 1-4244-0672-2/07/\$20.00/IEEE, 244-247, **2007**
- [12] Xu, Y., Tischenko, O., Hoeschen, C., Image Reconstruction By Oped Algorithm With Averaging, *University of Oregon*, **2007**
- [13] Erbay F., A Comparative Evaluation Of Super – Resolution Methods On Color Images, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, **2011**
- [14] Freeman W. T., Jones T. R., Pasztor E. C., Example-Based Super-Resolution, (Mitsubishi Electric Research Labs), Image-Based Modeling, Rendering, and Lighting, 56-65, **2002**

- [15] Glasner D., Bagon S., Irani M., Super-Resolution from a Single Image, *IEEE 12th International Conference on Computer Vision (ICCV)*, Israel, **2009**
- [16] Teoh, K. K., Ibrahim H., Bejo, S. K., Investigation on Several Basic Interpolation Methods for the Use in Remote Sensing Application, *Proceedings of the 2008 IEEE Conference on Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications*, 12-13 Temmuz, Multimedia University, Cyberjaya, Malaysia, **2008**
- [17] Brown, L. G., *A Survey of Image Registration Techniques*, Yüksek Lisans Tezi, Department of Computer Science Columbia University, New York, **1992**
- [18] Deshmukh, M., Bhosle, U., A., Survey Of Image Registration, *International Journal of Image Processing (IJIP)*, Volume (5), 245-269, **2011**
- [19] Beauchemin, S. S., Barron, J. L., The Computation of Optical Flow, *ACM Computing Surveys*, Vol. 27, No:3, 433-467, **1995**
- [20] Schultz, R. R., Stevenson, R. L., Bayesian Motion Estimation Without Spatial And Temporal Gradients, *0-7803-3636-4/97 \$10.00 0 IEEE*, 1385-1388, **1997**
- [21] Sauer, K., Schwartz. B., Efficient Block Motion Estimation Using Integral Projections, *IEEE Transactions On Circuits And Systems For Video Technology*, Vol. 6, NO. 5, Ekim, 513-518, **1996**
- [22] Czanner, G., Sarma, S. V., Eden, U. T., Brown, E. N., A Signal-to-Noise Ratio Estimator for Generalized Linear Model Systems, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol II, 2 - 4 Temmuz, London, U.K, **2008**
- [23] Ahmed, Z., Hussain, A. J., Al-Jumeily, D., Fast Computations of Full Search Block Matching Motion Estimation (FCFS), *ISBN: 978-1-902560-25-0*, **2011**
- [24] Duren R., Stevenson J., Thompson M., A Comparison of FPGA and DSP Development Environments and Performance for Acoustic Array Processing, *Baylor University, Waco*, **2007**
- [25] Trimeche, M., Color demosaicing using multi-frame super-resolution, *16th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2008)*, Lausanne, Switzerland, 25-29 Ağustos, **2008**
- [26] Farsiu, S., Robinson, M.D., Elad, M., Milanfar, P., Fast and robust multiframe super resolution, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 10, Ekim, **2004**
- [27] Appiah, K., Hunter, A., A Single-Chip FPGA Implementation of Real-time Adaptive Background Model, *0-7803-9407-0/05/IEEE*, 95-102, **2005**
- [28] Jinghong, L., Xiaohui, Z., Lu, W., The Design and Implementation of Fire Smoke Detection System Based on FPGA, *978-1-4577-2074-1/12/IEEE*, **2012**

# EKLER

## Ek 1

### Terimler Sözlüğü

açıklayıcı komut dizisi	pseudo code
açıklık	aperture
alan	domain
alçak frekans geçirimi	low pass
aradeğerleme	interpolation
azami dereceye çıkartmak	maximize
bilgi, veri	data
çapraz	cross
çiftdoğrusal aradeğerleme	bilinear interpolation
çok düzeyli birleştirici	multiplexer
dışbükey	convex
dikey	vertical
dilimleme	slice
dizi	serial
diziden paralele dönüştürücü	deserializer
dönüşüm	transform
dürtü	impulse
düşük çözünürlük	low resolution
düzen	format
düzensiz	nonuniform
düzgünleme	normalization
enküçültme	minimize
eşlenik	conjugate
etkin	valid
genlik	magnitude
hareket	motion
ilinti	correlation
iklendirme	initialization
işaret	signal



iyileştirme	restoration
kademeli olarak ilerleyen	progressive
kapsamlı	exhaustive
karmaşık	complex
kaydırma	shifting
kaynak	literature
kestirim	estimation
kötü konumlanmış	ill-posed
menzil	range
normal	gaussian
olabilirlik	likelihood
ortalama	mean
ortanca	median
önsel	prior
örnekleme	sampling
örtüşme	aliasing
örtüştürme	register
öteleme	translation
saat	clock
sınırlama	constraint
sınırlı bantlı	band-limited
süperçözünürlük	superresolution
süzgeç	filter
tabanlı	based
takım	clique
tekrarlamalı	iterative
tümden	global
uzamsal	spatial
üstel	exponential
yatay	horizontal
yeniden yapılandırma	reconstruction
devrik	transpose
çift kübik	bicubic
şerit	spline
sözde	pseudo
düzgelemek	normalize

mantık dilimi

logic slice

yazboz

flip flop

taramalı tablo

look up table

kayan noktalı

floating point

sabit noktalı

fixed point

## ÖZGEÇMİŞ

### Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Can Uğur OFLAMAZ  
Doğum Yeri : İzmir  
Medeni Hali : Bekar  
E-posta : canugur86@gmail.com  
Adresi : 167. Sokak 3. Blok Daire:12 3.Etap Eryaman/ANKARA

### Eğitim

Lise : İzmir Atatürk Lisesi  
Lisans : Hacettepe Üniversitesi

### Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce : İyi düzeyde  
Fransızca : İyi düzeyde

### İş Deneyimi

Elimko Ltd. Şti.'de elektronik tasarım mühendisliği (2009)  
Aselsan A.Ş.'de elektronik kart üretim mühendisliği (2010)

### Deneyim Alanları

-Elektronik kart üretimi, görüntü işleme, video işleme, FPGA, MATLAB

### Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

### Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

### Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-

