

164606

164606

**VİDEODA HAREKET ANALİZİ YÖNTEMLERİ  
İLE YOLDA TRAFİK VE ARAÇ DURUMUNUN  
İNCELENMESİ**

**CEM ÇANDAR**  
Yüksek Lisans Tezi

**Anadolu Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Haziran 2002**

**Anadolu Üniversitesi**  
**Merkez Kütüphane**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Cem ÇANDAR' ın Videoda Hareket Analizi Yöntemleri ile Yolda Trafik ve Araç Durumunun İncelenmesi başlıklı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 21.06.2002 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Yrd. Doç. Dr. Ömer Nezih GEREK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Emin GERMEN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selçuk CANBEK

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun 28.06.2002 tarih ve 22/1 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Orhan ÖZER  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Müdürü

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **VİDEODA HAREKET ANALİZİ YÖNTEMLERİ İLE YOLDA TRAFİK VE ARAÇ DURUMUNUN İNCELENMESİ**

**CEM ÇANDAR**

**Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ömer Nezh Gerek  
2002, 87 sayfa**

Trafik akışının ve yoldaki araç durumunun otomatik incelenmesi ve gerektiğinde bir günlük tutularak alarm üretilmesi, konuyla ilgili kuruluşlara önemli katkılar sağlayacaktır. Bu çalışmada, bu amaca yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemin deney aşamasında, yol üzerinde bulunan sabit kameralardan video görüntüleri alınmış ve bu görüntüler üzerinde benzeşim çalışmaları yapılmıştır. Standart video işleme yöntemlerinden bölge tabanlı hareket analizinin farklı türü olan ve videodaki fark görüntülerinden yararlanarak hareketli cisimleri tespit eden yöntemler, görüntü serisindeki cisimlerin bulunması için kullanılmıştır. Görüntü karelerinde buldukları pozisyonlara göre öznitelikleri üretilen cisim ve cisim hareketlerinin, görüntü serisi üzerinde mantıksal analizi çıkarılmış ve bu analizin yorumlanmasına yönelik kurala dayalı bir uzman sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin kullanılan çok sayıda deney verisi üzerinde başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bazı deney görüntüleri için simülasyonlar sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler :** Örüntü, Nesne Tanıma/Algılama, Bilgisayarlı Görme, Hareket Analizi.

## **ABSTRACT**

**Master of Science Thesis**

### **AUTOMATIC ANALYSIS OF TRAFFIC FLOW AND VEHICLE POSITIONS USING VIDEO ANALYSIS TECHNIQUES**

**CEM ÇANDAR**

**Anadolu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Electrical and Electronics Engineering Program**

**Supervisor: Asisst. Prof. Ömer Nezih GEREK  
2002, 87 pages**

The automatic analysis of traffic flow and vehicle positions by keeping a log of generated alarms would be useful in many automation applications that are required by the corresponding institutions. In this thesis, a method to perform this task is developed. During the simulations, a movie camera captured real life video sequences and experiments were performed. The frame difference based motion detection scheme, which is a variant of the region based method is used to detect the objects in the video sequence. Eigenfeatures of the object and its motion are extracted according to its position in the image. These features have been analyzed and a rule-based expert system is developed. It has been observed that the developed method produces satisfactory results for many real life scenes. Simulations are presented.

**Keywords :** Pattern Recognition/Object Detection, Artificial Vision, Moving Analysis.

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőması sűresince benden bilgi ve becerilerini esirgemeyerek her konuda beni yűnlendiren saygıdeęer danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Őmer Neziġ GEREK' e, maddi manevi tűm imkanlarını benim için seferber eden ve bana en gűzel çalıőma ortamını hazırlayan biricik aileme, moral motivasyonları ile her daim yanımda olan kardeőime ve niőanlıma, bilgisayar donanımları konusunda bilgi ve becerilerine baővurduęum sayın Arő. Gűr. İbrahim Kıvanç CİHAN' a teőekkűrlerimi sunuyorum.

to my MOM & DAD and

my DARLING...

# İÇİNDEKİLER

	<u>sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	iv
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1 Yapılan Çalışmalara Bakış .....	2
1.2 İlgi Bölgesi .....	4
1.3 Hareket Analizi .....	5
1.4 Fark Resmi .....	6
1.5 Hareketli Yer Grupları .....	7
1.6 Cisim Bölgesi .....	8
1.7 Cisim Hareketi .....	9
1.8 Deney Sonuçları .....	11
<b>2. GÖRÜNTÜ ANALİZİ</b> .....	12
2.1 Görüntü İşlemenin Adımları .....	12
2.2 Görüntü Analiz Teknikleri .....	14
2.3 Sayısal Görüntü İşleme Sisteminin Elemanları .....	14
2.4 Sayısal Görüntü Esasları .....	15
2.5 Renk Bilgisi ve Renk Temelleri .....	16
2.6 Örnekleme ve Nicemleme .....	18
2.7 Pikseller Arasındaki Temel Bağlar .....	19
2.7.1 Piksel Komşuluğu .....	20
2.7.2 Piksel Bağlılığı .....	20
2.8 Etiketleme .....	21
2.9 Mesafe Ölçümü .....	22
2.10 Aritmetik Operasyonlar .....	22
2.11 Maske Fonksiyonu .....	23
2.12 Görüntü İyileştirme .....	24
2.12.1 Uzamsal Alan Yöntemleri .....	24
2.12.2 Görüntü Çıkarımı Yoluyla İyileştirme .....	26
2.12.3 Uzamsal Filtre .....	26
2.12.3.1 Alçak Geçirgen Filtre .....	27
2.12.3.2 Yüksek Geçirgen Filtre .....	28
2.12.3.3 Bant Geçirgen ve Bant Durduran Filtre .....	29
2.12.4 Frekans Alanı Yöntemleri .....	30
2.13 Ortanca Filtre .....	32
2.14 Nesne Çıkarımı .....	36
2.14.1 Nokta Tespiti .....	37
2.14.2 Çizgi Tespiti .....	37
2.14.3 Kenar Tespiti .....	38
2.15 Gradyan Operatörleri .....	41

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<b>sayfa</b>
2.16 Morfolojik Operatörler .....	44
2.16.1 Köşegen Doldurma .....	44
2.16.2 Yok Etme .....	45
2.16.3 Köprü Bağlantısı .....	45
<b>3. HAREKET ANALİZİ</b> .....	<b>46</b>
3.1 Video .....	46
3.2 Frekans Boyutunda Hareket .....	47
3.3 Deney Görüntülerinin Hazırlanması .....	49
3.3.1 Görüntü Edinme .....	49
3.3.2 Resimleştirme .....	50
3.4 Hazırlık Aşaması .....	51
3.4.1 Yol Sınırları .....	51
3.4.2 Gürültü Giderme .....	53
3.4.3 Resimlerin Farkı .....	55
3.4.4 Resim Alt Bölgeleri .....	56
3.4.5 Kenar Bulma .....	58
3.5 Kesimleme .....	59
3.5.1 Yol Sınırları İçerisindeki Kenarlar .....	59
3.5.2 Kenar İyileştirme .....	61
3.5.3 Kenar Sınırlama .....	64
3.6 Temsil ve Tanıma .....	65
3.6.1 Kenar Ayırma .....	65
3.6.2 Yol Resmi Güncelleme .....	67
3.7 Karar .....	69
3.7.1 Koordinat Matrisi Düzenleme .....	69
3.7.2 İlk Düzenleme .....	71
3.7.3 Satır Düzenleme .....	73
3.7.3.1 Kayan Pencere .....	74
3.7.3.2 Boşluk Doldurma .....	75
3.7.3.3 Hareket Tahmini .....	75
3.7.4 Kurala Dayalı Hareket Yorumlama .....	77
<b>4. SONUÇ</b> .....	<b>83</b>
<b>5. KAYNAKLAR</b> .....	<b>86</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>sayfa</u>
1.1 İlgi bölgesi .....	5
1.2 Renkli Resim renk bileşenleri .....	6
1.3 Fark resmi .....	7
1.4 Hareketli resim bölgesi .....	8
1.5 İncelenen resim üzerinde analiz verileri ile markalanan bölgeler .....	9
1.6 Hareketli bölgelerin orta noktaları .....	10
1.7 Hareketli cisimlerin yol üzerinde tespiti .....	11
2.1 Görüntü işleme adımları .....	12
2.2 Eklemeli renk grubu .....	17
2.3 Renkli görüntü işleme için akış diyagramı ve işlenen görüntü örneği	18
2.4 p pikselini çevreleyen komşular .....	20
2.5 Bağlılık örnekleri .....	21
2.6 Üç farklı piksel grubunun örnek etiketlenmesi .....	22
2.7 Maske .....	23
2.8 Örnek T operatörü (kontrast değişikliği için operatör) .....	24
2.9 Örnek T operatörü (ikili resim elde etmek için) .....	25
2.10 Örnek T operatörü (dilme işlemi için) .....	25
2.11 Alçak geçirgen filtre karakteristiği .....	27
2.12 Alçak geçirgen filtre maskesi örneği .....	27
2.13 Yüksek geçirgen filtre karakteristiği .....	28
2.14 Yüksek geçirgen filtre maskesi örneği .....	29
2.15 Bant geçirgen filtre karakteristiği .....	29
2.16 Bant durduran filtre karakteristiği .....	30
2.17 Uzamsal düzlemde evrişim ve frekans düzleminde çarpma .....	30
2.18 Ortanca filtre maske çeşitleri .....	33
2.19 Ortanca maskeleri .....	34
2.20 Ortanca filtreleme .....	35
2.21 Nokta tespiti için uygulanan maske .....	37
2.22 Çizgi tespiti için uygulanan maskeler .....	38
2.23 Örnek görüntü parçası ve koordinatları .....	39
2.24 Renk geçiş profili ve bu profilin türev fonksiyonları .....	39
2.25 $f(x,y)$ 'nin gradyanı .....	41
2.26 Kenar haritası akış diyagramı .....	42
2.27 Köşegen doldurma .....	44
2.28 Yok etme .....	45
2.29 Köprü bağlantısı .....	45
3.1 Zaman ekseninde dizili resim kareleri .....	47
3.2 Deney görüntülerinin hazırlanma aşamaları .....	49
3.3 Hazırlık aşaması evreleri .....	51
3.4 Yol resmi üzerinde oluşturulmuş ilgi bölgesi .....	52
3.5 Yol resmi çerçevesi .....	52
3.6 Ortanca filtre aşamaları .....	54
3.7 Çeşitli ortanca filtre kalıplarının sonuçları .....	54
3.8 Ortanca filtre aşamasının akış diyagramı .....	55
3.9 Fark resmi oluşumu .....	56

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

	<b><u>sayfa</u></b>
3.10 Resmin alt bölgeleri .....	57
3.11 Farklı gradyan operatörlerinin ürettiği sonuçlar .....	58
3.12 Kesimleme aşamasının akış diyagramı .....	59
3.13 İki boyutlu x-y uzamsal düzleminde doğru ve nokta .....	60
3.14 Yol bölgesini oluşturan doğrular ve yol içerisinde bir nokta .....	61
3.15 Kenar haritası .....	61
3.16 Kenar haritaları iyileştirilen resimler .....	62
3.17 İyileştirilen harita .....	63
3.18 Örnek kutu resmi .....	64
3.19 Kenar ayırma .....	65
3.20 Toleranslı bölge .....	68
3.21 Yenilenen yol .....	68
3.22 Hareket tahmini .....	76
3.23 Tahmin dörtgeni .....	77
3.24 Hareket yorumlama akış diyagramı .....	80

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>sayfa</u></b>
2.1 Görüntü analizi uygulamaları ve alanları .....	12
2.2 Görüntü analiz teknikleri .....	14
2.3 Gradyan operatörleri ve transfer fonksiyonları .....	43
3.1 Bölgelere göre hız .....	57
3.2 Örnek veri matrisleri .....	71
3.3 İlk düzenleme sonucu oluşturulan orta nokta matrisi için tablo .....	72
3.4 Kayan pencere örneği .....	74
3.5 Boşluk doldurma örneği .....	75
3.6 Köşe koordinatları ve beklenen koordinat değerleri .....	76
3.7 Geliştirilen uzman sistemin örnek verilere verdiği cevaplar .....	81

## 1. GİRİŞ

Modern video sistemlerinde sayısal video analiz teknikleri önemli bir rol oynamaktadır. Video analizindeki önemli aşamalardan biri video geçişlerinde hareketli cisimlerin tespit edilmesidir [1]. Bu tezde, video karelerinde hareketli cisimlerin tespiti ve takibi ile ilgili bir çalışma sunulmaktadır. Hareketli hedeflerin bulunması savunma ve güvenlik sistemlerinde olduğu gibi, yol trafik kontrolü [2], otopark kontrolü gibi uygulamalarında da önem kazanmaktadır. Yoldaki araçların hareketleri ve bu hareketlerin ürettiği alarmlar; sollama, yakın takip, kaza, aşırı sürat [3], yabancı cisim ...v.b analiz için baz alınmaktadır.

Hızla gelişmekte olan sayısal görüntü işleme, fen ve matematik alanlarında genelde, bilgisayar tarafından iki boyutlu bir resmin incelenmesi anlamında kullanılmaktadır. Görüntü işleme uygulamalarının büyük çoğunluğunun ana amacı, görüntünün bilgisayarlar tarafından tanımlanması ve yorumlanması için görüntüden önemli özelliklerin açığa çıkartılmasıdır.

Hareket halindeki üç boyutlu bir nesnenin zamana göre uzaydaki ardışık çizgisel ve açısal konumlarından yararlanarak hareketinin takip edilmesi kontrol uygulamaları açısından önemlidir. Örneğin, seyir halindeki araçların otomatik yönlendirilmesi, hareketli nesnenin takibi, süreç yönlendirme, planlama ve gözetleme gibi uygulamalar hareket parametrelerinin bulunmasına ihtiyaç duyar. Hareket verilerine doğru ulaşabilmek ise; veri görüntüdeki ilgilenilen nesnenin şekil ve konum bilgilerinin [4] minimum hatayla tespit edilmesini [5,6,7] gerektirir. Görüntüde aranan nesnenin kenarlarının doğru ve hatasız bulunması cismin gerçek şeklini de ortaya çıkarır. Bu noktada, kenar bulma algoritmaları kullanılır.

Cisim şekli belirlemeye alternatif bir yol olarak, hareket vektörlerinin kümeleştirilmesiyle ortaya çıkan şeklin, vektör analizi yöntemleriyle incelenerek anlaşılması ve kendisine uygun araç şekline uyarlanması sunulabilir [8].

Bu çalışmada cisim şekilleri kenar bulma algoritmalarıyla belirlenmektedir. Zaman ekseninde dizelenmiş video karelerindeki bu nesne şekillerinin anlamlı hareketlerinin yorumlanabilmesi için kurala dayalı bir algoritma geliştirilmiştir. Gerçekleşebilecek tüm hareket senaryoları göz önünde tutularak geliştirilen bu algoritmada; ilgilenilen nesnenin geçmiş zamandaki

hareketleri, beklenen cisim hareketi için temel olmuştur. Hareket tahmini ile ilgili bulanık mantığın [9] kullanımı, önceki hareketin olasılık dağılımı ile geleceğin tahmini [10] sunulabilecek alternatif yollardır.

## 1.1 Yapılan Çalışmalara Bakış

Video görüntüleri görüntü, zaman ve ses bileşenleri ile karmaşık bir veriyi temsil etmektedir. Bu geniş içeriğin analizinden elde edilecek sonuçların çeşitliliği sayısal video işlemeye duyulan önem ve hassasiyeti gün geçtikçe arttırmaktadır.

Sayısal resimlerde günümüze kadar yapılan hareket analizi yöntemlerini üç farklı başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar sırasıyla; blok tabanlı hareket analizi yöntemi (Block-Based Motion Analysis), piksel tabanlı hareket analizi yöntemi (Pixel-Based Motion Analysis) ve bölge tabanlı hareket analizi yöntemi (Region-Based Motion Analysis)'dir [11].

Blok tabanlı hareket analizi yöntemi ardışık video karelerinde yer değiştiren piksel gruplarının hareket vektörlerinin bulunması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde incelenen kare, birbirleriyle kesişmeyen küçük dikdörtgen kutucuklardan oluşan piksel bölgelerine ayrılmaktadır. Bir önceki video karesindeki kutucuklarla aralarındaki mutlak ortalama fark hesaplanmakta ve sonuçta iki boyutlu hareket vektörleri elde edilmektedir [12]. Her bloktaki piksellerin parlaklık değerleri, diğer görüntüde karşılık gelen piksellerin parlaklık değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Diğer bir deyişle blok içindeki her pikselin parlaklık değeri, diğer görüntüde bu piksellere karşılık gelen imgeciğin parlaklık değerinden çıkarılmakta ve sonucun mutlak değeri alınmaktadır. Bu değer belli bir eşik değerinin üstünde ise ilk başta sıfırlanmış olan bir sayacın değerine bir eklenmektedir. Bloktaki tüm pikseller incelendiğinde sayacın değeri, parlaklık farkları eşik değerini aşan piksellerin sayısını vermektedir. Bu değer daha önce belirlenen bir değeri aşarsa, o blok içinde hareket eden bir cisim olduğu bulunmaktadır. Tüm bloklar incelendikten sonra eğer içinde hareket eden cisimler saptanmış bloklar varsa bunlar çerçeve içine alınmaktadır [13,14]. Fakat bu işlem düşük çözünürlükte (16x16) ayrıntıların kaybolmasına sebep olmaktadır.

Piksel tabanlı hareket analizi yönteminde daha fazla işlem bulunmaktadır. Daha çok istatistiksel yöntemlere dayanan bu analiz çeşidinde değişik bir yol olarak imgenin momentlerinden faydalanılmaktadır. Bu yöntemde ilk önce imge üzerindeki her pikselin çevresindeki bir bölgenin momentleri hesaplanır. Ardından da bu momentlere göre her pikselin öznitelik vektörü bulunur. Hesaplanan bu vektör ile ilgilenilen hareketli nesneye ulaşmak mümkün olmaktadır [15]. Bu yöntemin uygulandığı bir başka uygulama ise piksellerin yer değişikliğinin tanımını olasılık dağılımı ile matris halinde tutan algoritmadır. Bu yöntemde göre yerleştirme parametreleri, rasgele seçilmiş piksel noktalarının oluşturduğu küçük kümelerle oluşturulmaktadır. Ayrıntılı nesne hareketi ile görüntü piksellerinin olası değişikliğindeki kararlılık, hareketli cisim tespiti için kullanılmaktadır [16].

Piksel tabanlı hareket analizi yöntemi piksel bazında bir yöntem olduğu için sınır bölgelerinin tespitinde oldukça başarılıdır. Fakat hız ve genel maliyet yönünden dezavantajlarıyla dikkat çekmektedir. Bölge tabanlı hareket analizi yönteminin doğruluk açısından diğerlerine göre daha iyi sonuç verdiği rapor edilmiştir.

Young 1994'de yayınladığı çalışmasında ardışık video karelerinin piksel-piksel farkı yoluyla görüntüdeki hareketli bölgelere ulaşmanın mümkün olduğundan bahsetmektedir [17]. Bu çalışmada hareketli bölgeleri oluşturan piksel gruplarının gri seviye değişikliğine dayanan bir algoritma geliştirilmiştir.

Videoda hareket analizi üzerine yapılan diğer bir çalışmada üç boyutlu kamera görüntülerinden insan vücudunun duruşunu tahmin eden gerçek zamanlı bir metot önerilmektedir. Bu yöntemde, üç boyutlu görüntülerden çıkartılan insan silüetleri üzerinde, üst tarafın yönlemine tespit etmekte ve helistik çerçeve analizi yapılmaktadır [18].

Wixson ve Hansen, belirgin, göze çapan hareketlerin tanımlanması için bir algoritma geliştirmişlerdir [19]. Belirgin hareket, gözlenen bir hedefin ilginç olmayan, bir aracın belli bir yönde ilerlemesi gibi sıradan hareketleri olarak tanımlanır. Algoritma, belirgin hareketlerin tespiti için optik akışın orta-seviye görüntü entegrasyonu üzerinde geliştirilmiştir.

Bu çalışma ile sunulan yöntem ardışık iki resmin farkı esasına dayanır. Bu metot bölge tabanlı hareket analizi yönteminin varyantı olarak düşünülebilir. Elde edilen bu fark resminden yola çıkılarak video karelerindeki hareketli piksellere ulaşılır. Arka plan görüntüsünden bu şekilde ayrıştırılan piksel gruplarının yoğun ve kararlı olduğu bölgeler, sayısal görüntü işleme yöntemleri ile bulunup incelenmektedir. Böylece resimlerde hareketli olan ve olmayan cisimler tespit edilmektedir.

Çalışmada kullanılmak üzere muhtelif trafik görüntüleri, kamera ile alınmış, analiz için bilgisayara aktarılmıştır. Çeşitli bilgisayar yazılımları kullanılarak elde edilen video kareleri bilgisayar ortamında işlenmek için hazır hale getirilmiştir.

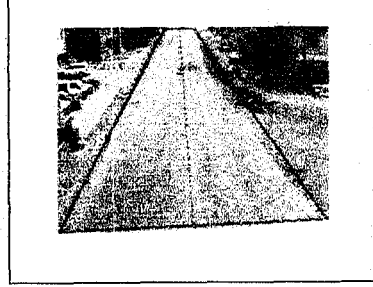
## 1.2 İlgili Bölgesi

Video analizinde en önemli etkenlerden biri de harcanan zamandır. Görüntünün tamamının incelenmesi yerine ilgilenilen bölgenin incelenmesi zaman kazanma için etkin bir unsurdur. Veri görüntünün tamamı amacımız için kullanılmak zorunda olmayabilir. Bu nedenle analiz için kullanılacak yol resminde yolun sınırları kullanıcı yardımı ile belirlenmektedir. Yolun sol-alt, sol-üst, sağ-alt ve sağ-üst köşeleri belirtilerek dörtgen bir ilgi bölgesi oluşturulmaktadır. Böylece var olabilecek hareketlerin bölge dahilinde veya haricinde olup olmadığına karar vermek kolaylaşacaktır. Bu çalışmada ilgi bölgesi dışındaki hareketler analiz dışında tutulmaktadır.

Yolun köşelerini temsil eden dört ayrı nokta, kapalı kutu şekli oluşturmak için, sırayla birleştirildiğinde ilgi dörtgeni ortaya çıkmaktadır. İlgili bölgesinin alt ve üst kenar doğrularının orta noktaları birleştirildiğinde, virajsız olan yol geliş-gidiş olmak üzere iki şeride ayrılabilir. Bu şekilde hangi bölgede ne tür hareketlerin yanlış olduğu, ve şerit ihlali gibi bilgiler analiz sonucunda elde edilebilecektir. Dört köşeye sahip bu dörtgen aynı zamanda incelenen resmin yol kısmını da sınırlandırmaktadır.

İlgili bölgesi içindeki piksel gruplarının incelenmesi tüm resim üzerindeki grupların incelenmesinden daha kolay olacaktır. Bu yöntemle video analizinin

kolaylaştırılması ve yalınlaştırılması amaçlanmaktadır. Şekil 1.1’de örnek bir ilgi bölgesi gösterilmektedir. İlgi bölgelerinin oluşturulması **Bölüm 3.2.1**’de ve bu bölgelerin içinde kalan piksel noktalarının bulunması **Bölüm 3.3.1**’de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 1.1. İlgi bölgesi

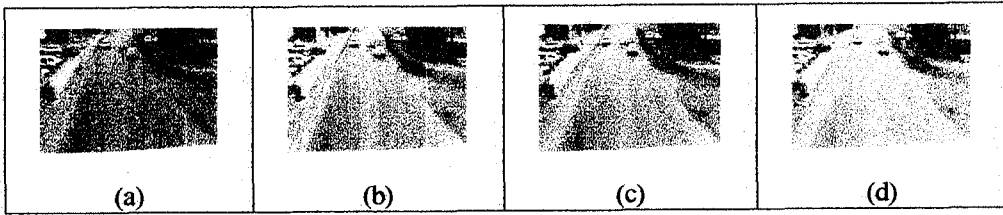
### 1.3 Hareket Analizi

Video karesindeki renk bölütleri ayrıştırılıp hareket tahmini ile desteklendiği taktirde, resim üzerindeki hareketli nesne bulunabilmekte ve hareket takibi yapılabilmektedir. Bu tür analiz problemlerinin ilk adımı resimli örüntü tanıma ve görüntü ayrıştırma değildir. İmge bölütleme, imgenin kendisini meydana getiren parçalara ayrılmasıdır. Nesne tanıma, matematiksel ve istatistiksel tabanlı yöntemlerle yapılabildiği gibi 1990’lı yıllardan itibaren bunlara yapay sinir ağları kullanımı da dahil olmuştur [20].

Tek renkli imgelerin bölütlenmesi algoritmaları, gri düzey değerlerinin iki temel özelliklerinden birinin kullanılmasına dayanır. Bu temel özellikler süreksizlik ve benzerliktir. Süreksizlik özelliğinden yararlanılarak gri düzeylerindeki ani değişikliklere göre imge bölümlere ayılır [21]. Bu algoritmanın temel amacı imge üzerindeki ayrışma noktalarının, yani kenarların sezilmesidir. Benzerlik özelliğini kullanan algoritmalar ise temel olarak eşik değeri, bölge büyütme ve bölge ayrıştırma yöntemlerini gerçekleyecek şekilde oluşturulur. İmge üzerindeki süreksizlikleri bulmanın en yaygın yolu, görüntü üzerinde bir maskenin dolaştırılmasıdır. Maskenin kapsadığı bölgedeki gri seviyelerden yararlanılarak çeşitli katsayılar hesaplanır ve bu katsayılar göre süreksizlikler hesaplanır [21].



Bahsedilen yöntemin renkli resimlere uygulanabilmesi, bu tür resimlerin kendisini oluşturan üç ana renk (kırmızı-yeşil-mavi) bileşenine ayrıştırılmasını gerektirir. Her bir renk bileşeni gri seviyeli bir resim olarak düşünülebilir. Her bileşene ayrı ayrı uygulanan bu yöntem sonucunda elde edilen görüntülerin aynı düzlemsel boyutta üst üste kesleştirilmesi, bahsi geçen yöntem ile analiz edilen renkli resmi vermektedir. Şekil 1.2’de renkli bir resmin sırasıyla kırmızı, yeşil ve mavi bileşenleri gösterilmektedir. Renkli resim ve renk bileşenleri ile ilgili bilgi **Bölüm 3.2.2**’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Renkli resmin renk bileşenleri: (a)- renkli resim, (b)- kırmızı bileşeni, (c)- yeşil bileşeni, (d)- mavi bileşeni

#### 1.4 Fark Resmi

Matematiksel fark şu anki video karesiyle bir önceki karenin birbirinden çıkarılmasıyla elde edilir. Çalışmadaki fark görüntülerinin elde edilmesinde başlangıçta kullanılan referans kare, yolun boş halindeki resmi. Zaman ilerledikçe  $t$  anındaki kare çıkan kare olmakta, yolun boş hali ise referans kare olarak kalmaktadır.

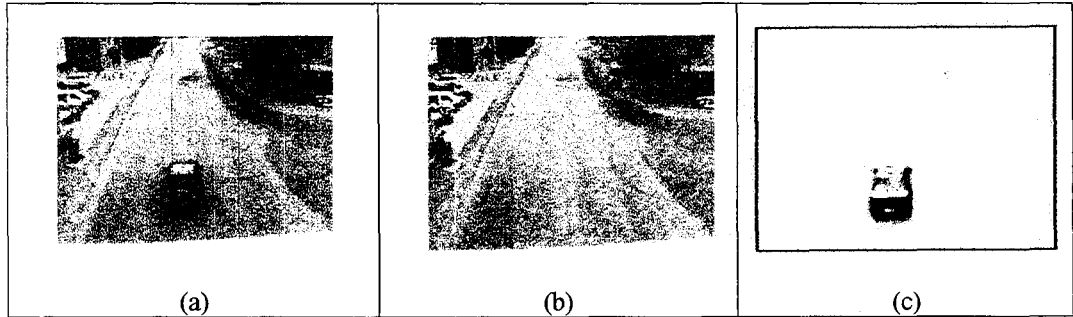
Hava koşullarının sürekli değişmesi, analiz süresince referans karenin yenilenmesini gerektirmektedir. İncelenen karede arka plan görüntüsünü oluşturan kısım video zamanı ilerledikçe değişmektedir. Bu yüzden kullanılan arka planın hiç değiştirilmeden bütün analiz boyunca kullanılması sakıncalıdır. Bunun giderilmesi amacıyla, video analizi sırasında, her kare işleminde, hareketsiz olarak tespit edilen bölgeler referans karedeki arka fon görüntüsü üzerine yenileme amaçlı yamanmaktadır. Bu şekilde arka fon görüntüsü otomatik olarak güncellenmektedir.

İncelenen ve referans video kareleri eşzamanlı olmayacağı için, değişen ışık ve hava durumu nedeniyle, fark resminde gürültü ve bozulmalar olacaktır. Bu

tür bozulmalar kenar bulma yönteminde uygunsuzluklara ve yanlışlıklara yol açacaktır. Arka fon görüntüsünün güncellenmesi ile bu tür hatalar ortadan kaldırılmaktadır.

İncelenen ve referans video kareleri fark işlemine tabi tutulmadan önce tüm bileşenleri, kırmızı-yeşil-mavi, ayrı ayrı ortanca (Medyan) filtrelenmektedir. Bu yöntemle resimler üzerindeki istenmeyen gürültülerin giderilmesi amaçlanmaktadır. Ortanca filtre sonucunda kameranın ürettiği gürültü noktacıları giderilirken, keskin renk geçişinin olduğu kenarlar korunmaktadır.

Fark resminde sıfırdan farklı değerlere sahip pikseller potansiyel olarak hareketli bölge adaylarıdır. Hareketli bölgelere kenar bulma yöntemi uygulanarak kararlı grup oluşturan kısımlar incelenen resim üzerinden çıkarılabilir. Bulunan bu bölgeler ikili görüntü işleme yöntemleri [22,23] kullanılarak iyileştirilmektedir. Bu inceleme sonucunda belirlenen eşik değerini geçen, bir araca ait olabilecek büyüklükteki parçalar sınıflandırılmakta ve ayrı ayrı numaralandırılmaktadır. Böylece inceleme anında ele alınan karede kaç tane hareketli bölge olduğu tespit edilmektedir. Şekil 1.3'de incelenecek resim, yolun boş halindeki resmi ve bu iki resmin farkıyla bulunan fark resmi gösterilmektedir. Fark resminin bulunmasıyla ilgili detaylı bilgi **Bölüm 3.2.3**'de verilmiştir.



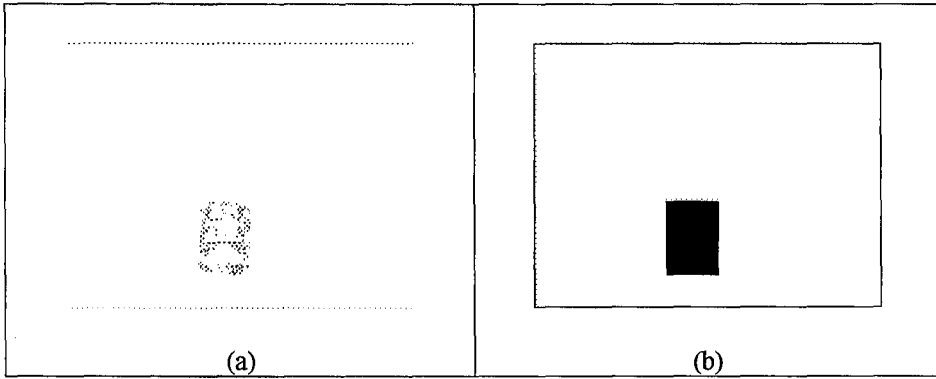
Şekil 1.3. Fark resmi: (a)- İncelenen kare, (b)- yolun boş resmi; (c)- fark resmi

## 1.5 Hareketli Yer Grupları

Kenar bulma yöntemi ile birlikte kenar haritalarına uygulanan morfolojik filtreler sayesinde hareketli piksellerin yoğun olduğu bölgeler belirgin hale getirilmektedir. Hareketli yer grubu olmaya aday kısımların, görüntüde hangi nesneyi belirttiği haritalara uygulanan morfolojik operatörlerle bulunmaktadır.

Yakın takip gibi alarmlardan meydana gelen kenar birleşmesi, iki ayrı cismin tek bir cisim olarak bulunmasına yol açar. Aynı problemin benzerine kenar zayıflaması durumunda da rastlanılmaktadır. Kenar devamsızlığına yol açan bu zayıflamalar aynı cismin iki ayrı cisimmiş gibi yorumlanmasına sebep olur. Bu tür problemler uygun morfolojik operatör seçimiyle giderilmektedir.

Sekizli köşegen veya köprü bağıntısı olan kenar haritaları birleştirilirken, komşuluğu bulunmayan, bağıntı mantığı içermeyen grupların farklı cisimlere ait oldukları düşünülmektedir. Bu analiz sırasında cisim olabilecek niteliklere büyüklük olarak sahip olan kenar grupları belirlenen eşik seviyesi ile karşılaştırılarak belirginleştirilir. Cisim olma niteliği taşımayan gruplar ise gürültü olarak düşünülür. Şekil 1.3-(c)'de gösterilen fark resminden, sunulan yöntem ile elde edilen hareketli bölgeler ve bu bölgeleri temsil eden kutucuklar Şekil 1.4' de gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Hareketli resim bölgesi: (a)- hareketli bölge, (b)- hareketli bölgeyi çevreleyen en küçük kutu

Çalışmamızda her bir hareketli yer grubunun etrafını saracak en küçük, dik açılı kutu (kare veya dikdörtgen) cisim bölgesi olarak ele alınmıştır. Bu konu hakkında detaylı bilgi **Bölüm 3.3.3'** de verilmiştir.

## 1.6 Cisim Bölgesi

Cisim bölgesi olarak tespit edilen her bir kutucuğa görüntüdeki hareketli cisimleri içeren bölgeler olarak bakmak mümkündür. Çünkü bu kutucuklar hareketli piksellerin oluşturduğu kümeleri çevreleyen en küçük kutulardır.

Normal şartlar altında kritik karar gerektiren hareketli grup inceleme aşaması, bulunan grupların bir cisme ait olup olmadığı kararında önem kazanır. Farklı cisimlere ait kenar birleşmesi veya aynı cisme ait kenarların bölünmesi gibi kirlenme kaynaklı oluşabilecek hatalar bu aşamada yöntemin başarısında etkili olmaktadır. Bu tür hataların engellenmesi için işaretlenen tüm kenar haritalarının dikey ve düşey ekseninde maksimum-minimum nokta kesişmeleri, belli eşik değerlerine göre birbirleriyle karşılaştırılır. Sonrasında kurallı bir numaralandırma işlemi yapılarak bu karar işlemi daha sağlıklı hale getirilir.

Kenar haritalarının çerçevelenmesi ile bulunan bu kutular, video dizisi süresince çeşitli doğrultularda ve bazen de şekillerini az da olsa değiştirerek hareket etmektedir. Cisim kameraya yaklaştıkça kutu şeklinin büyümesi ve cisim kamaradan uzaklaştıkça kutu şeklinin küçülmesi beklenen şekil değişiklikleridir.

İyileştirilen ve markalanan grupların köşe koordinat bilgileri, sınırlandırma ve hareket bilgisi için tüm detaylara sahip olduğu gibi hareket tahmini ve doğabilecek alarmlar için yeterli olmaktadır.

Hareketli bölgeleri temsil eden kutucukların markalanması, farklı video karelerinde aynı cismi temsil eden kutulara aynı marka numarasının verilmesi konusunda **Bölüm 3.4.1**'de bilgi verilmiştir.



**Şekil 1.5.** İncelenen resim üzerinde analiz verileri ile markalanan bölgeler

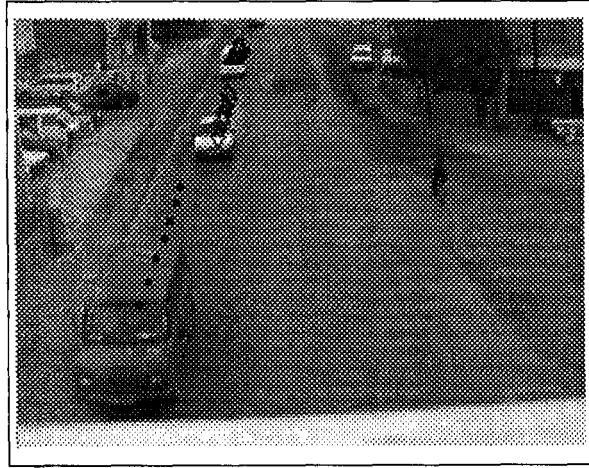
## 1.7 Cisim Hareketi

Video serisi süresince zaman zaman görüntüdeki gürültüler nedeniyle kenar bulma algoritması tutarsız sonuçlar vermektedir. Örneğin, tek bir cisme ait olarak süregelmekte olduğu tespit edilen bir grup, gürültünün etkisiyle veya kenar

zayıflaması nedeniyle oluşan kopma sonucunda, iki ayrı grup olarak bulunabilmektedir. Kimi zaman da birbirine çok yakın giden araçlar tek bir grup olarak algılanabilmektedir. Bu tür problemler kurala dayalı uzman bir sistem ile, tüm video serisi ele alınarak giderilmeye çalışılmıştır.

Örneğin önceden beri tek bir cisimmiş gibi gelip, sonradan ikiye bölünen ve ardından tekrar birleşen bölgeler, gürültü veya kenar zayıflaması nedenli kopma olarak düşünülmüştür. Buna karşılık yakın takipteki iki araç, kamera açısı sayesinde belli bir süre sonra algılanmaya başlar ve hareketine ayrı ayrı devam ederse, bunun aslında yakın iki araç olduğuna karar verilir. Buna benzer 20 civarında senaryo için ayrı ayrı kurallar oluşturulmuştur. Toplamda, yeni görüntü karesinde bulunan cismin, önceki karedeki hangi cismin hareket etmiş olanına karşılık geldiği bilgisini üreten tümleşik bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistem zaman ekseninde geçmişteki veriyi kullanarak ileriye tahmin etme mantığıyla işlemektedir. İncelenen görüntü sonrasında bulunan hareketli cisimleri çevreleyen kutuların orta noktalarının video süresince dizilimi Şekil 1.6' da, gösterilmektedir.

Hareket tahmini ile ilgili açıklama **Bölüm 3.5.3.4'** de verilmiştir.

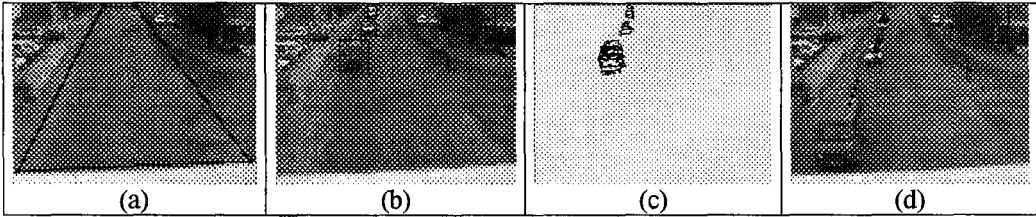


Şekil 1.6. Hareketli bölgelerin orta noktaları

## 1.8 Deney Sonuçları

Trafik ve yol-akış analizi probleminin çözümünde, fark esasına ve bölge tabanlı hareket analizi yöntemine dayanarak geliştirilen bu uzman sistem başarıya ulaşmıştır.

Normal akışa ait görüntü almak, fiziksel açıdan daha kolay olmaktadır. Bununla beraber, kullanılan tüm video görüntülerinde şerit ihlali, yakın takip, aşırı hız ... v.s tarzı pek çok problemin yer aldığı kısımların tamamında sorunlar tespit edilerek alarm durumları üretilmiştir. Buna karşılık 5 dakikalık 20 video serisinden 3 tanesinde, her birinde ikişer tane olmak üzere hatalı alarm üretme durumu meydana gelmiştir. Alarm durumlarının günlüklerinin tutulduğu ve sonradan incelenebileceği göz önüne alınırca, gerçek alarmların kaçırılmamasının, normal durumları gürültü nedeniyle alarm olarak algılamadan daha önemli olduğu söylenebilir. Şekil 1.7'de sırasıyla arka fon ve ilgi alanı, hareketli tespit edilen cisimlerin çerçeveleri, örnek cisim kenarları ve bu cisimlerin hareket takibi (nokta, baklava dilimi, ve üçgen ile gösterilmekte) verilmiştir.



Şekil 1.7. Hareketli cisimlerin yol üzerinde tespiti

Geliştirilen bu algoritma geçmiş video karelerindeki cisim hareketlerini baz alıp, incelenen karedeki hareketleri tahmin etme esasına göre çalıştığından, üretilen alarm hataları 1 saniyeden daha kısa bir sürede düzeltilebilmektedir.

## 2. GÖRÜNTÜ ANALİZİ

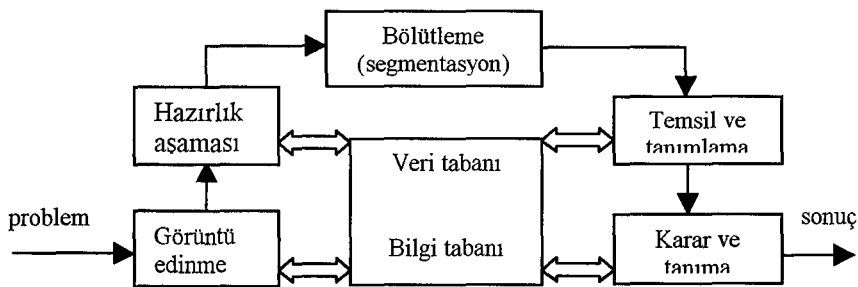
Bu bölümde analiz için kullanılan görüntü işleme yöntemlerine yer verilmiş ve yararlı olacağı düşünülen bazı ekstra yöntemlere de değinilmiştir. Görüntü analizi, bir görüntüden nicel ölçümler yaparak görüntünün tanımlanmasıyla ilgilendir. Orijinal görüntü üzerinde, kabul edilebilir şekilde, yapılan değişiklik işlemlerinin günümüzdeki çeşitli uygulama örnekleri ve alanlarının bazıları Çizelge 2.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Görüntü analizi uygulamaları ve alanları

ÖRNEK UYGULAMALAR		ALANLARI
1	Mektup adres okuma, etiket okuma, süper market-ürün faturalandırılması, metin okuma.	Karakter tanımlama
2	Tümör tespiti, iç organların boyut ve şeklinin ölçülmesi, kromozom analizi, kan hücresi sayımı.	Tıbbi görüntü analizi
3	Montaj hatları üzerindeki parçaların tanımlanması, kusur ve hata tespiti.	Endüstriyel otomasyon
4	Bir görüntünün içerisindeki nesnelere tespiti ve yorumlanması, görsel geri besleme ile hareketlerin kontrolü ve uygulanması.	Robotik
5	Fotoğraflardan harita hazırlanması, hava durum haritalarının sentezi.	Kartografi
6	Parmak izi karşılaştırılması ve otomatik güvenlik sistemlerinin analizi.	Adli araştırmalar
7	Hedef tespit ve tanımlama, helikopter ve uçakların iniş sırasında yönlendirilmesi, insansız hava aralarının güdümü, kamera güdümlü füzeler.	Radar analizleri
8	Çok spektrumlu görüntü analizi, hava tahmini, kentsel ve tarımsal çevrelerin uydu görüntülerinden sınıflandırılması ve görüntülenmesi.	Uzaktan algılama

### 2.1 Görüntü İşlemenin Adımları

Görüntü işleme adımlarını genellersek, görüntü edinme, hazırlık aşaması, bölütleme (segmentasyon), temsil ve tanımlama, karar ve tanıma, veri-bilgi tabanı aşamalarından oluşur ve sembolik olarak Şekil 2.1’deki gibi tanımlanır.



Şekil 2.1. Görüntü işleme adımları

Bilgisayarlı görüntü sisteminde, girdi görüntüye ilk önce geri çatma, geliştirme veya sadece uygun bir şekilde gösterimini içeren ön işlem uygulanır. Sonra görüntünün bileşenlerine bölütlenmesi için kesin özellikleri çıkartılır, örneğin; değişik objelerin sınırlarının çıkartılarak ayrılması gibi. Bölütlenen görüntü, bir sınıflandırıcıya veya görüntü alma sistemine beslenir. Görüntü sınıflandırma, değişik bölge ve kısımları her biri etiketlenen çeşitli objelerden biriyle özdeşleştirir. Görüntü anlama sistemleri, görüntüyü tanımlamak için, görüntü içerisindeki farklı objeler arasındaki ilişkileri belirler. Görüntü işlemenin adımları:

- *Görüntü edinme:* Görüntü duyucuları (sensor), fotoğraf makineleri, resim tarayıcılar ve kameralar görüntü edinme araçları olarak sıralanabilir. Eğer bu araçlar analog kayıt yapıyorsa analog-sayısal dönüştürücü yardımıyla eldeki görüntüler sayısallaştırılır.
- *Hazırlık aşaması:* Kontrast değişikliği, gürültü giderimi, ilgilenilen bölge seçimi gibi aşamalar ön hazırlık evresinde yapılmaktadır.
- *Bölütleme (Segmentasyon):* Bu aşamada görüntünün bileşenleri incelenerek, nesnelere tespit edilir. Örneğin resim üzerindeki yazıdan karakter tanıma probleminde, karakterin arka plan görüntüsünden ayrışımı bu aşamada gerçekleşir.
- *Temsil ve tanımlama:* Bölütleme aşamasının çıkışında ilgi alanındaki ham, işlenmemiş piksel verileri bulunmaktadır. Bu bilgilerin işlenebilmesi veya yorumlanabilmesi bilgisayar için uygun hale getirilmesiyle mümkün olur. Uygunlaştırılan verilerden ilgi bölgesinde kalanlar ayıklanmaktadır. Bu aşamada nesnelere yapısal şekilleri, köşe noktaları, eğiklikleri ve bükülmeleri tespit edilmektedir. Bölgesel bilginin uygunluğu veri tabanındaki bilgilerle karşılaştırılıp doğru sonuca varılabilir.
- *Karar ve tanıma:* Bu aşama nesne tabanlı analizlerde tanıma olarak adlandırılır. Veri tabanındaki data ile resimden gelen datanın uygunluğuna bakılmaktadır. İki datanın benzeşmesi durumunda ise karar verilir. Nesne tabanlı olmayan analizlerde, aranan her ne ise kenar tespiti yöntemi ile bulunur. Belirlenen eşik büyüklüklerinden geçenler aranan nesne olarak



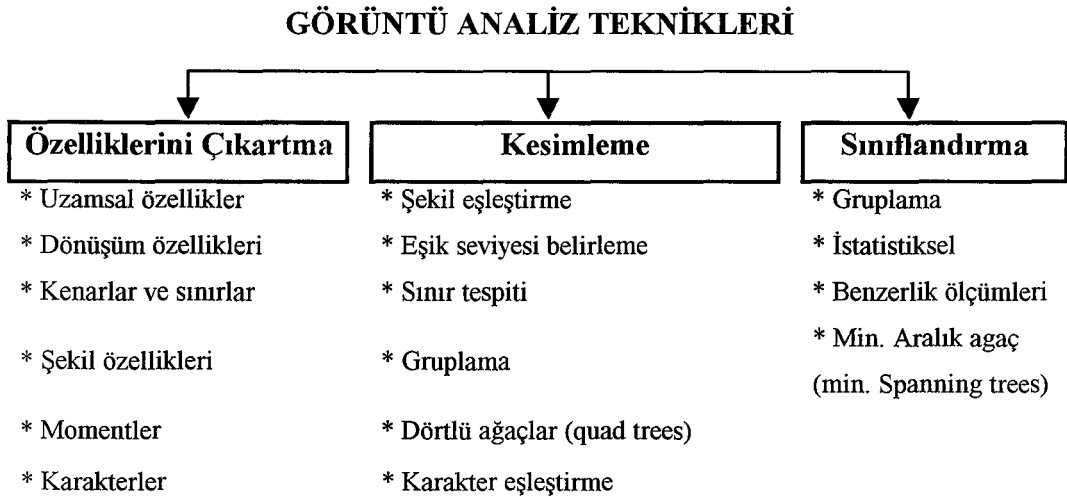
tanımlanır. Görüntü analizi sisteminde sonuca gitmek için en önemli aşamadır.

- *Veri tabanı:* Görüntü edinme, ön hazırlık, bölütleme, temsil, tanıma ve karar aşamalarında data karşılaştırma işleminin yapılması hazırlanacak veri tabanı ile mümkün olur. Karşılaştırmalı analizlerde veri tabanının güçlü olması analizin doğruluğu için önemlidir.

## 2.2 Görüntü Analiz Teknikleri

Görüntü analizi esasen özelliklerini çıkartma, kesimleme ve sınıflandırma çalışmalarını içerir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Görüntü analiz teknikleri



## 2.3 Sayısal Görüntü İşleme Sisteminin Elemanları

Sayısal görüntü işleme sistemlerinin bileşenleri şunlardır: edinme, depolama, işleme, bağlantı ve gösterim.

- *Edinme:* Videolar ve tarayıcılar görüntü edinme araçlarıdır. Elektromanyetik enerji spektrumundaki frekanslara göre (örneğin x-ışınları, ultraviyole, görünür veya kızıl ötesi bantlar) elektriksel sinyal üreten hücrelerden oluşan araçlardır. Fiziksel sinyali sayısallaştıran araçlar da görüntü edinme araçları arasında yer almaktadır.

- *Depolama:* Optik diskler, video kasetleri, manyetik disk, DVD, video CD, sabitdisk ve kasetler, depolama araçları olarak sayılabilir.
- *İşleme:* Sayısal görüntünün işlenmesi bilgisayarlar veya optik işlemlerle mümkün olmaktadır. Gerekli yazılımlar ve donanımların kurulu olduğu bilgisayarlar görüntü analizinde önemli yer tutmaktadır.
- *Bağlantı:* Görüntü işleme sistemi ve iki nokta arasındaki uzaktan haberleşme araçları arasında görüntü verilerinin iletimi için kullanılan araçlardır. Fotoğraf filmleri, monitörler, televizyonlar, yazıcı, kamera ve tarayıcılar bu sınıfta sayılabilir.
- *Gösterim:* İki renkli ve renkli görüntülerin, modern görüntü işleme sistemlerinde gösterimi için kullanılan araçlardır. Televizyonlar, monitörler ve yazıcılar bu araçlara örnektir.

## 2.4 Sayısal Görüntü Esasları

Aynı geometrik düzende 3 boyutlu (3D) objelerin oluşturduğu topluluğa mekan denilmektedir. Mekanın içeriği görüntü veya resimden kaynaklanan radyo metrik enerjiden oluşmaktadır [21]. Görüntü iki boyutlu ışık yoğunluk fonksiyonudur. Işık enerjinin bir şeklidir. Uzamsal boyutta  $(x,y)$  noktasının gösterdiği değer  $f(x,y)$  değeridir.

$f(x,y)$  fonksiyonunun doğası iki bileşenle ifade edilir. Bunlar; nesne görüldüğü anda ışık kaynağının cisim üzerine düşen parçası ve obje tarafından yansıtılan parçasıdır. Görüntüler, cisimden yansıyan ışık miktarını içerir. Aydınlatma şiddeti  $[i(x,y)]$  ve yansıma  $[r(x,y)]$  olarak adlandırılan bu bileşenler  $f$  fonksiyonunu oluşturur [21]. Aydınlatma şiddeti ve yansıma parçasının sınır değerleri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$f(x,y) = i(x,y).r(x,y); 0 < i(x,y) < \infty; 0 < r(x,y) < 1 \quad (2-1)$$

Bu eşitlik, yansımanın “0” (toplam yutma) ile “1” (toplam yansıma) açık aralığında olduğunu gösterir.  $r(x,y)$  değeri cismin karakteristiğine göre hesaplanırken,  $i(x,y)$  ışık kaynağına göre hesaplanır. Örnek olarak,  $r(x,y)$ 'nin 0.93 değeri kar rengini temsil ederken, 0.01 siyah kadife rengini temsil etmektedir [21].

İki renkli görüntünün  $(x,y)$  koordinatındaki  $f$  fonksiyonunun yoğunluğuna ise o noktadaki gri seviyesi ( $I$ ) denilmektedir. Gri seviyesi aralığı için  $L_{\min} \leq I \leq L_{\max}$  olmak zorundadır ( $L_{\min} = i_{\min} \cdot r_{\min}$ ,  $L_{\max} = i_{\max} \cdot r_{\max}$ ).

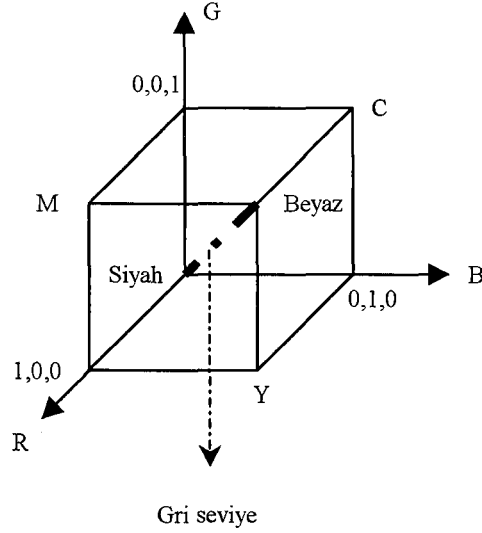
Sayısal görüntü ise  $f(x,y)$  fonksiyonunun sayısallaştırılmasıyla oluşur. Sayısallaştırma öncesi sürekli bir fonksiyon olan  $f$ , sayısal hale getirildiğinde kesikli bir fonksiyon olmaktadır. Uzamsal koordinat ve parlaklık değerlerinin sayısallaştırılmasıyla elde edilen görüntüler, satır ve sütunu olan matris olarak gösterilebilir. Bu matrisin element değerleri, resmin o koordinattaki gri seviyesinden oluşmaktadır.

## 2.5 Renk Bilgisi ve Renk Temelleri

Cisimler tarafından yansıtılan ışığın gözde oluşturduğu duyuma renk denilmektedir [21]. Renk, görüntüden nesne çıkarımı veya obje tarifinde tanımlayıcı ve kuvvetli bir tanımlayıcı faktördür. Gri seviyedeki renk tonlarına nazaran renkli görüntülerdeki yoğunluk ve renk tonları insan gözü için milyonlarca çeşit içermekte ve algılamada da kolaylıklar sağlamaktadır.

Gözle görülen renkler üç ana bileşenden, kırmızı yeşil maviden, oluşmaktadır. Bu renk grubuna *RGB renk grubu* denilmektedir [21]. Kırmızı rengin dalga boyu  $\lambda_r=700\text{nm}$ , yeşil rengin dalga boyu  $\lambda_y=546.1\text{nm}$  ve mavi rengin dalga boyu  $\lambda_m=435.8\text{nm}$ 'dir. Bu dalga boylarını geçirecek şekilde tasarlanan üç farklı bant-geçirgen filtrenin ucuca bağlanması ile ana renkler elde edilir. RGB renk grubu "*eklemeli renk sistemi*" olarak da bilinmektedir [21]. Renkli televizyon, monitör gibi görüntü bağdaştırıcı araçlar bu sistemle çalışmaktadır.

Ana renklerin birbirleriyle farklı kombinasyonda çakışmasıyla ara renkler elde edilir ve bu renk grubuna *CMY renk grubu* denilmektedir. Bu renkler; yeşilimsi mavi (Cyan), morumsu kırmızı (Magenta) ve sarı (Yellow)'dır. Eklemeli bu renk grubunun ve bileşenlerinin ifadesi Şekil2.2'deki gibidir.



Şekil 2.2. Eklemeli renk grubu

Gri seviyede parlaklık ya da yoğunluk algılayıcıların tayflı (spectral) karakteristiğinin tanımı aşağıdaki formülle yapılmaktadır.

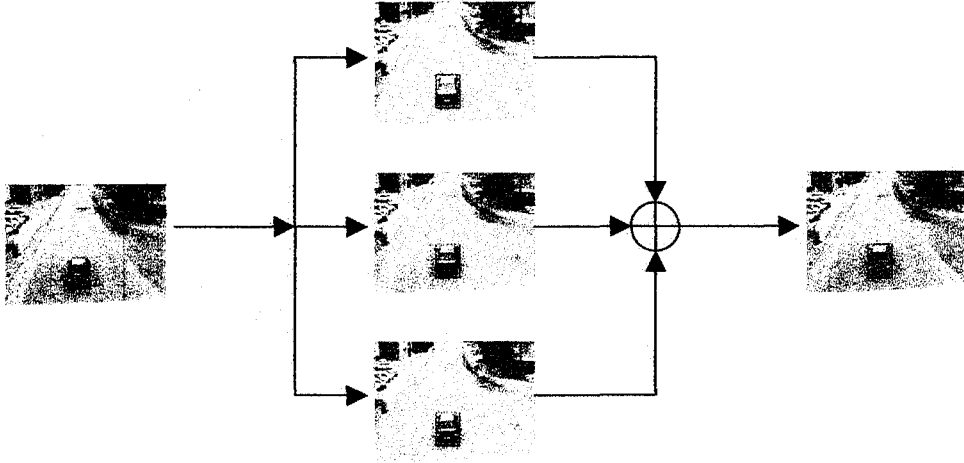
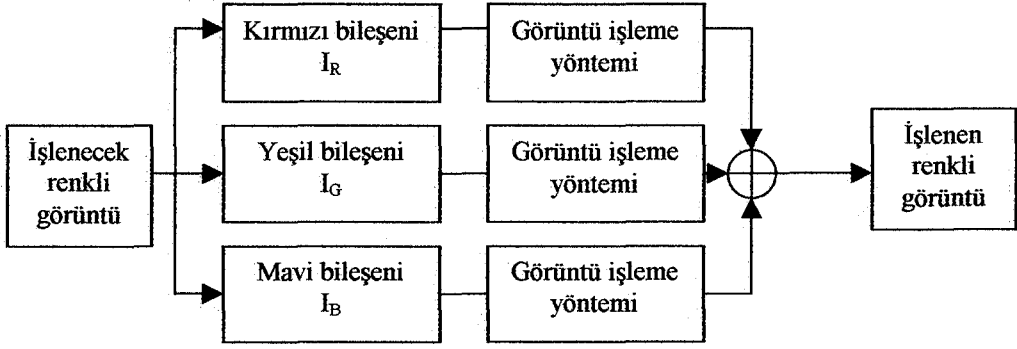
$$I = k \cdot \int_{\lambda=0}^{\infty} c(\lambda) \cdot S_{BW}(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2-2)$$

$k$ , pozitif bir katsayıyı,  $c(\lambda)$  gelen ışığın dalga boyunu,  $S_{BW}(\lambda)$  ise algılayıcıların tayflı dalga boyunu göstermektedir. Yoğunluğun sınırı;  $0 \leq I \leq I_{max}$  olmalıdır.  $I_{max}=255$  beyaz rengi temsil ederken,  $I=0$  siyah rengi temsil etmektedir. Siyah ile beyaz arasındaki tüm ara değerler değişen gri tonlarını vermektedir.

Renkli resimleri oluşturan ana renklerin oluşturduğu RGB paletindeki renklerin parlaklık tanımları ise aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R = k \cdot \int_{\lambda=0}^{\infty} c(\lambda) \cdot S_R(\lambda) \cdot d\lambda; \quad G = k \cdot \int_{\lambda=0}^{\infty} c(\lambda) \cdot S_G(\lambda) \cdot d\lambda; \quad B = k \cdot \int_{\lambda=0}^{\infty} c(\lambda) \cdot S_B(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2-3)$$

Renkli resimleri oluşturan her bir bileşen (kırmızı, mavi, yeşil) gri seviyeli bir resim olarak düşünülebilir. Bu bileşenlere ayrı ayrı uygulanan yöntemlerin ürettiği sonuçlar birleştirilerek işlenmiş renkli görüntü elde edilir (Bkz. Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Renkli görüntü işleme için akış diyagramı ve işlenen görüntü örneği

## 2.6 Örnekleme ve Nicemleme

Bilgisayarlı analiz için görüntü fonksiyonu  $f(x,y)$ 'nin uzamsal ve büyüklük olarak sayısallaştırılması gereklidir. Uzamsal koordinattaki sayısallaştırmaya görüntü örnekleme, büyüklük olarak sayısallaştırmaya ise gri seviye nicemlemesi denilmektedir [21].  $N \times M$  boyutundaki  $f(x,y)$  görüntüsü matris olarak:

$$f(x,y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

formülü ile verilir. Eşitliğin sol tarafına sayısal görüntü, sağ tarafındaki her bir elemana da piksel (görüntü elementi, resim elementi, pel) denilmektedir. Bu eşitlik aynı zamanda iki boyutlu ( $2-D$ ) görüntünün ifadesi olmaktadır.

Sayısallaştırmada her pikselin kesikli gri seviye değeri vardır. Yani  $N \times M$  boyutundaki bir resim,  $N=2^n$ ;  $M=2^k$ ;  $G=2^m$  olarak belirtilir. Burada  $G$  gri seviye değeridir. Bir diğer deyişle,  $N \times M$  ebadındaki bir sayısal resim  $b=N \times M \times m$  bite saklanır. Örneğin;  $128 \times 128$ 'lik bir resim  $64(=2^6)$  gri seviyesinde  $98,304(=128 \times 128 \times 6)$  bite saklanır. Gri seviye değerinin azaltılması görüntüde bulanıklıklara ve ayrıntıların kaybolmasına sebep olurken homojen bölgelerde fazla gri seviyesinin kullanılması o bölgedeki bulanıklığı engeller.

Gri seviye sayısı ve örnekleme miktarı resmin görünümü ve saklanacağı birimin büyüklüğü için önemli parametrelerdir. Gri seviye sayısı ve örnekleme arasındaki orana çözünürlük veya görüntü ayırma gücü denilmektedir [21]. Resmin netliğini arttırmak için gri seviye sayısını arttırmak yeterlidir. Ancak, bu sayının artması, görüntüyü depolayacak cihazın da yüksek kapasiteli olmasını gerektirir.

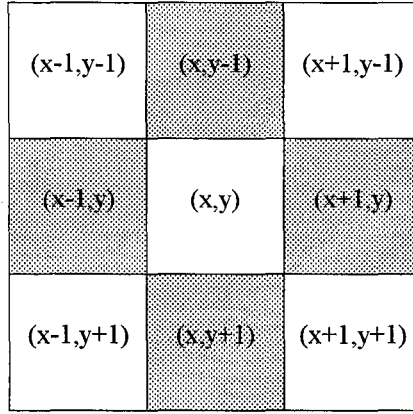
Resimdeki ilgilenilen bölge sınırları belirli ise, gri seviye sayısının o sınırlar içerisinde artırılması, ilgi bölgesinin netlik probleminin çözülmesinde faydalı olacaktır. Ancak görüntünün veya ayrıntının hangi bölgede olduğunu tespit etmek çözülmesi güç bir problemdir. Kısmi gri seviye sayısının artırılması depolama alanında da kazançlar sağlar. Tüm bunlar göz önüne alındığında ideal nicemleme için yedi seviyeli nicemleme tavsiye edilmektedir [21].

## 2.7 Pikseller Arasındaki Temel Bağlar

Görüntü düzlemi hücrelere bölünerek incelenir. En yaygın olanı görüntü düzlemini kare hücrelere ayırmaktır. Pikseller arasındaki komşuluklar ve bağılıklar bu kare hücrelerin çevresini saran diğer kare hücrelere göre değerlendirilir.

### 2.7.1 Piksel Komşuluğu

Sayısal resimde  $(x,y)$  koordinatındaki piksel  $p$  olsun.  $p$ 'nin yatay ve dikey ekseninde 4 komşusu vardır. Bu komşuların koordinatları,  $(x+1,y)$ ,  $(x-1,y)$ ,  $(x,y+1)$  ve  $(x,y-1)$  olarak sıralanabilir. Bu koordinat kümesini  $N_4(p)$  olarak adlandıralım. Aynı  $p$  pikselinin köşegen (çapraz) komşuları ise  $(x+1,y+1)$ ,  $(x+1,y-1)$ ,  $(x-1,y+1)$  ve  $(x-1,y-1)$  noktalarında bulunmaktadır. Bu koordinat kümesine ise  $N_D(p)$  diyelim.  $p$  pikselinin tüm komşuları Şekil 2.4'de gösterilmektedir.



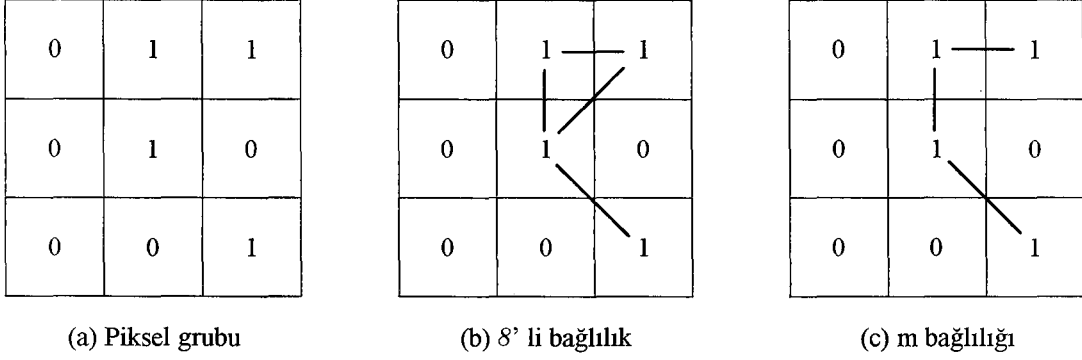
Şekil 2.4.  $p$  pikselini çevreleyen komşular

### 2.7.2 Piksel Bağlılığı

Bağlılık, pikseller arasında, alt görüntü bölgelerinin ayrımında kullanılan önemli bir kavramdır. Bir bölge içerisindeki objenin tespitinde veya bulunduğu alanın çerçevesinde piksel bağlılığı kullanılır. İki piksel arasındaki bağlantı o piksellerin komşuluklarına göre hesaplanır. Komşu pikseller arasında 3 çeşit bağlılık vardır. Bunlar:

1. *4'lü bağlılık:*  $(x,y)$  noktasında bulunan  $p$  pikselinin, yatay ve dikey komşu pikselleri 4'lü bağlılık oluşturur.
2. *8'li bağlılık:*  $(x,y)$  noktasında bulunan  $p$  pikselinin, yatay-dikey komşu pikselleri ve köşegen piksellerinin oluşturduğu grup 8'li bağlılığı oluşturur. Diğer bir deyişle  $p$  pikselinin etrafını çepeçevre saran pikseller 8'li bağlılık pikselleridir (Bkz. Şekil 2.5b).

3. *m* (karışık) bağıllık: İki şekilde olabilmektedir. Eğer bağıllık pikseline *q* dersek;
- Eğer *q* pikseli  $N_4(p)$ 'nin içindeyse veya,
  - Eğer *q* pikseli  $N_D(p)$ 'nin içindeyse ve  $[N_4(p) \cap N_4(q)]$  boş küme ise karışık bağıllık gerçekleşmektedir (Şekil 2.5c).



Şekil 2.5. Bağıllık örnekleri

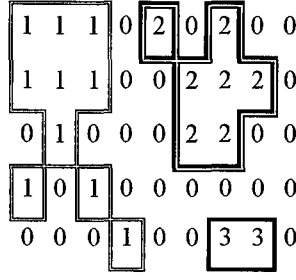
Bu yöntemler kullanılarak, görüntü üzerinde oluşabilecek hatalar giderilebilir. Şöyle ki, bir piksel ile bu pikselin komşuluğunda bulunan diğer pikseller, eğer aynı nesneye bağlılarsa, grilik seviyelerinin birbirine yakın değerde olması gerekir.

## 2.8 Etiketleme

Sınırlar, bir objenin şeklini tanımlayan bağlanmış kenarlardır ve boyut veya yönlendirme gibi geometrik özelliklerin hesaplanmasında kullanılır.

Birbirine hiçbir komşuluğu veya bağıllığı olmayan piksel grupları sayısal görüntü üzerinde farklı cisimleri temsil eder. Bu şekilde birbirinden ayrılan her piksel grubuna ayrı bir numara verilir. Böylece gruplar kendi aralarında etiketlenmiş olur. Ayrı grup numaralarına sahip piksellerin etiketlenmesi ikili bir resim örneği için Şekil 2.6'da gösterilmektedir.





Şekil 2.6. 3 farklı piksel grubunun örnek etiketlenmesi

## 2.9 Mesafe Ölçümü

$p$ ,  $q$  ve  $z$  pikselleri için buldukları koordinatlar  $(x,y)$ ,  $(s,t)$  ve  $(u,v)$  olsun.

Mesafe fonksiyonu  $D$ 'nin özellikleri;

- $D(p,q) \geq 0$ 'dir. [ $D(p,q)=0$  ancak  $P=Q$  ise], (2-5)

- $D(p,q) = D(q,p)$  ve (2-6)

- $D(p,z) \leq D(p,q)+D(q,z)$ 'dir. (2-7)

$p$  ve  $q$  pikselleri için aralarındaki mesafe aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır.

$$D_e(p,q) = [(x-s)^2 + (y-t)^2]^{1/2} \quad (2-8)$$

## 2.10 Aritmetik Operasyonlar

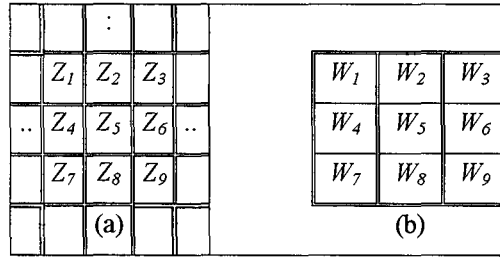
Görüntüleme sisteminin ve görüntü analizinin tüm bölümlerinde pikseller arasında aritmetik işlemler kullanılır. Bu işlemleri tanımlayabilmek için  $p$  ve  $q$  ile gösterilen, sırasıyla  $(x,y)$  ve  $(s,t)$  koordinatında bulunan iki pikseli ele alalım. Bu iki piksel arasındaki aritmetik operasyonlar; toplama  $(p+q)$ , çıkarma  $(p-q)$ , çarpma  $(p.q)$  ve bölme  $(p/q)$  olarak tanımlanmaktadır. Aritmetik operasyonlar iki şekilde uygulanır.

1. *piksel-piksel tabanlı:* Hareketli görüntüde hareketli piksellerin tespiti için piksel-piksel karşılaştırması aritmetik operatörlerle yapılır. Uygulamasına sık rastlanan operatörler ise toplama, çıkarma ve çarpma işlemleridir.
2. *Komşuluk tabanlı:* Formüle edilebilir işlemlerdir. Maske, pencere veya filtre gibi fonksiyonların kullanılmasına dayanmaktadır. Piksel değerinin komşularıyla olan ilişkilerine göre değerlendirilen işlem türüdür.

## 2.11 Maske Fonksiyonu

Sayısal görüntü işlemede filtreleme, kenar bulma, bağıntı kurma, komşuluk arama gibi değişik analizler için eksenler boyunca büyüklükleri ve nitelikleri değişebilen maskeler kullanılmaktadır. Yatay, dikey ve yatay-dikey olmak üzere üç çeşit maske vardır. Analizde kullanılacak maske çeşidi, ele alınan probleme göre belirlenir.

Şekil 2.7a'da  $Z$ 'ler görüntüde ilgilenilen alandaki piksel değerlerini temsil etmektedir.  $3 \times 3$  boyutundaki maske örneğinde ise  $W$ 'ler (Şekil 2.7b) maske katsayılarını göstermektedir. Maske katsayıları ve tüm görüntü üzerinde bulunan noktalar piksel-piksel çarpılarak, maskeleme yapılır. Genelde, maskeleme iki boyutlu ( $2D$ ) dizinlerde, sabit ışık şiddeti üzerine değişik ışık şiddeti değerlerinin atanmasıyla yapılır. Maske katsayıları değiştirilerek görüntü üzerinde istenilen her tür değişiklikler yapılabilir.



Şekil 2.7. Maske: (a)- görüntü parçası, (b)-maske fonksiyonu

Eğer ilgilenilen görüntü alanına Şekil 2.7'deki maske uygulanırsa elde edilecek yeni değer:

$$Z = w_1.z_1 + w_2.z_2 + \dots + w_9.z_9 \quad (2-9)$$

işlemi ile bulunur.

$3 \times 3$ 'lük bir maske ilgilenilen bölgeye uygulandığı zaman, her piksel için 9 tane çarpma işlemi, 8 tane toplama işlemi yapılır. Bu da  $512 \times 512$  ebadında bir resme  $3 \times 3$ 'lük bir maske uygulanırsa 2,359,296 defa çarpma, 2,097,152 defa da toplama işlemi yapılması anlamına gelir. Örnekten anlaşılacağı üzere sayısal görüntü işlemenin temel işlemi olan maske oldukça zaman alıcıdır.

Bu çalışmada maske işlemi kenar bulma, ortanca filtreleme ve morfolojik operatörlerle kenar güçlendirme aşamalarında kullanılmıştır.

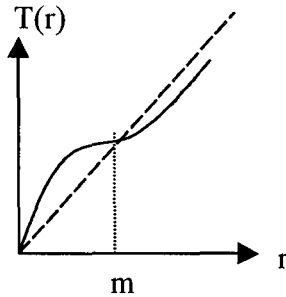
## 2.12 Görüntü İyileştirme

Herhangi bir görüntü alındığında, görüntünün içerisinde değişik etmenler dolayısıyla büyük ölçüde bozulmalar (ayrışmalar) olacaktır. Yanlış pozlandırılmış resimlerde, kontrastı arttırmak için gri seviye değişikliği önerilirken, filtre yoluyla parazitler giderilebilir.

Görüntü iyileştirme uzamsal alanda ve frekans alanında olmak üzere iki farklı şekilde yapılır. Uzamsal alanda piksel değerleri değiştirilerek yapılan iyileştirme, frekans alanında Fourier {F} dönüşümü kullanılarak yapılır.

### 2.12.1 Uzamsal Alan Yöntemleri

Ele alınan bir görüntünün bir operatör aracılığıyla iyileştirilmesidir.  $f(x,y)$  görüntüsünün  $T$  operatöründen geçirilerek  $g(x,y)$  görüntüsünün elde edilmesi,  $g(x,y) = T[f(x,y)]$  şeklinde ifade edilir.

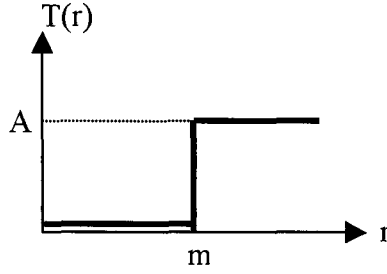


Şekil 2.8. Örnek T operatörü (kontrast değişikliği için operatör)

$T(r)$  operatörü Şekil 2.8'de kesikli çizgi ile gösterildiği gibi  $f(x,y)$ 'ye uygulanırsa,  $g(x,y)$ ,  $f(x,y)$ 'nin aynısı olur. Fakat düz çizgi ile temsil edilen  $T(r)$  operatörü uygulanırsa oluşacak  $g(x,y)$  görüntüsü için aşağıdaki durumlar söz konusu olacaktır.

$$g(x,y) = \begin{cases} \text{daha parlak görüntü olur, } r > m, \text{ iken} \\ \text{daha domuk(koyu) görüntü olur, } r < m, \text{ iken} \end{cases} \quad (2-10)$$

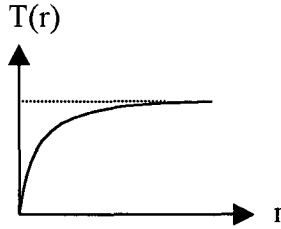
Yukarıdaki örnekte kullanılan operatör resim üzerinde kontrast değişikliği yapmaktadır. Aynı operatör Şekil 2.9'daki gibi uygulanırsa elde edilen görüntü ikili, siyah-beyaz, olacaktır.



Şekil 2.9. Örnek T operatörü (ikili resim elde etmek için)

Çünkü operatör  $m$  gri seviyesine kadar sıfır değerinde kalacak ve o seviyeye kadar olan tüm rengi siyah yapacaktır.  $m$  gri seviyesinden sonra  $A$  değerinde sabit kalacak ve o seviyeyi aşan tüm renkleri de beyaz yapacaktır.

Eğer  $T(r)$  Şekil 2.10'daki gibi bir transfer fonksiyonuna sahip ise, iki sınır arasındaki değeri geçirme işlemi yaparak dilme (slicing) denilen işlemi gerçekleştirecektir.



Şekil 2.10. Örnek T operatörü (dilme işlemi için)

Bahsi geçen  $T$  operatörü aslında bir tür maskedir (Bkz. Şekil 2.7).  $3 \times 3$ 'lük bir görüntü parçasına  $T$  operatörünün  $3 \times 3$ 'lük bir maske ile uygulamasının matematiksel ifadesi formül (2-11) ile özetlenir.

$$\begin{aligned}
T[f(x, y)] = & w_1 \cdot f(x-1, y-1) + w_2 \cdot f(x, y-1) + w_3 \cdot f(x+1, y-1) + w_4 \cdot f(x-1, y) + \\
& w_5 \cdot f(x, y) + w_6 \cdot f(x+1, y) + w_7 \cdot f(x-1, y+1) + w_8 \cdot f(x, y+1) + \\
& w_9 \cdot f(x+1, y+1)
\end{aligned} \tag{2-11}$$

### 2.12.2 Görüntü Çıkarımı Yoluyla İyileştirme

Sayısal resim iyileştirme yöntemlerinden biri olan görüntü çıkarımı yoluyla iyileştirme matematiksel fark esasına dayanır. Bir tür nokta iyileştirme tekniği olan görüntü çıkarımı iki resmin farkıyla özetlenir. Bu metotla iyileştirilen  $g(x,y)$  resmi,

$$g(x, y) = f(x, y) - h(x, y) \tag{2-12}$$

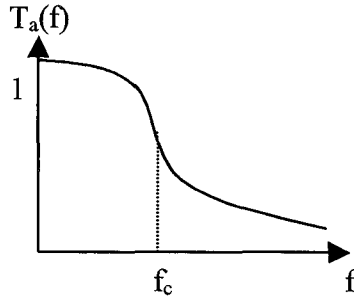
ile ifade edilir. Bu eşitlikte  $f(x,y)$ , orijinal resmi;  $h(x,y)$  ise çıkarılan resmi temsil etmektedir. Burada  $f$  ve  $h$  fonksiyonlarında koordinat olarak birbirine karşılık gelen piksellerin farkıyla  $g(x,y)$  görüntüsü elde edilir. Bir örnek verecek olursak bu iyileştirme yöntemi, tıp alanında bir analiz yöntemi olarak da kullanılabilir. Örneğin ideal kan görüntüsü  $h$ , alınan kan görüntüsü  $f$  'den piksel-piksel çıkarıldığı zaman, incelenen kan görüntüsünde eksikler veya fazlalıklar kolaylıkla bulunabilir.

### 2.12.3 Uzamsal Filtre

Uzamsal maskelerin görüntüye uygulanmasıyla oluşan filtre yöntemidir. Bu işlemler, pikselin hem kendi değerine hem de komşularının değerine bağlıdır. Bu filtreler doğrusal ve doğrusal olmayan filtreler olmak üzere iki farklı şekilde olabilir. Bu işlemin amacı, görüntü içerisindeki iyi detayları kuvvetlendirmek ve görüntünün elde edilmesi esnasında kullanılan metodun doğal etkisi ya da hatası sonucu oluşan bulanıklaşmanın detaylarını iyileştirmektir.

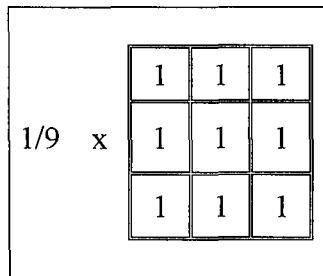
### 2.12.3.1 Alçak Geçirgen Filtre

İsminden de anlaşılacağı gibi alçak frekansları geçiren yüksek frekansları durduran ve doğrusal bir filtre çeşididir. Görüntüde yüksek frekansa karşılık gelen bölgeler kenar veya keskin detayların olduğu bölgelerdir. Bu kısımları yumuşatmakta ve geçişlerdeki sertliği azaltmada alçak geçirgen filtreler kullanılır. Bu filtre tipinin resme uygulanması ile detay ve kenar bilgileri zayıflarken daha düşük frekansa sahip görüntü parçalarının korunması amaçlanmaktadır. Tipik alçak geçirgen filtre karakteristiği aşağıdaki şekilde olacaktır.



Şekil 2.11. Alçak geçirgen filtre karakteristiği;  $f_c$ : kesme frekansı

Matematiksel olarak yerel tümlevi ifade eden alçak geçirgen filtre için uygulanacak örnek maske Şekil 2.12'deki gibi olacaktır. Uygulanan maske, görüntüdeki gri seviyesinin korunması için  $1/9$  ile dengelenmiştir. Alçak geçirgen filtre karakteristiği Gauss fonksiyonunun örneklenmiş modeli olduğu için bu filtre maskesinin tüm katsayıları, şekilde görüldüğü gibi, pozitif sayılardan oluşmaktadır.

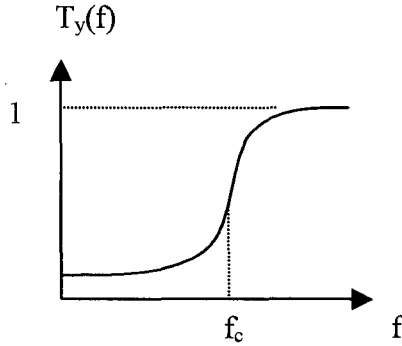


Şekil 2.12. Alçak geçirgen filtre maskesi örneği

### 2.12.3.2 Yüksek Geçirgen Filtre

Görüntü içerisindeki kenarlar ve çizgiler genellikle, resmin yüksek frekanslı parçalarını içermektedir. Bulanık olan görüntülerde çizgiler ve ayrıntılar tam olarak belirgin değildir. Bu gibi durumlarda yüksek geçirgen filtreler kullanılarak görüntü içerisindeki kenar ve detay bilgileri belirginleştirilebilir. Bu doğrusal filtrenin amacı düşük frekans parçalarını içeren görüntü parçalarının geçişini engelleyerek yüksek frekans içeren parçaların geçişine izin vermektir. Yüksek geçirgen filtre kenarları vurgulayan bir filtre olduğu için görüntüdeki bulanıklaşmayı da önler. Yani bu tip filtre ile süzülen bir görüntü, görsel anlamda daha keskindir. Kenar ve sert geçiş detayları resimde ön plana çıkacağı için görüntü seçik olur.

Tipik yüksek geçirgen filtre karakteristiği aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 2.13. Yüksek geçirgen filtre karakteristiği;  $f_c$ : kesme frekansı

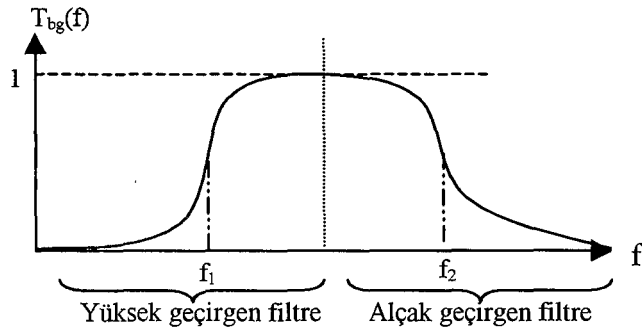
Matematiksel olarak yerel türevi ifade eden bir yüksek geçirgen filtre için uygulanacak örnek maske Şekil 2.14'deki gibi olacaktır (uygulanan maske, görüntüdeki gri seviyesinin korunması için  $1/9$  ile dengelenmiştir). Filtre katsayılarının toplamı maskeden de anlaşılacağı gibi, sıfır olmak zorundadır. Böylece; gri seviyesi sabit veya az değişen görüntü bölgelerine bu filtre uygulandığı zaman, filtre çıktısı sıfır veya sıfıra çok yakın bir değer olacaktır.

$1/9 \times$	-1	-1	-1
	-1	8	-1
	-1	-1	-1

Şekil 2.14. Yüksek geçiren filtre maskesi örneği

### 2.12.3.3 Bant Geçirgen ve Bant Durduran Filtre

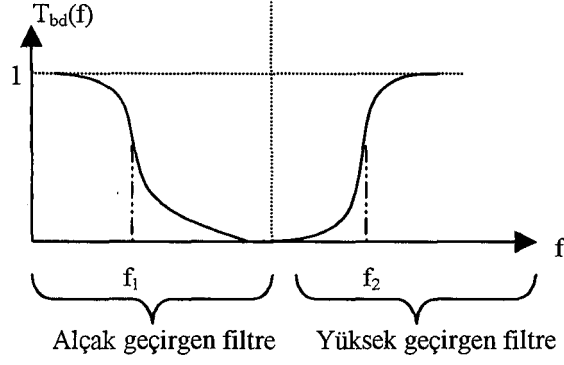
Bu tür filtreler, alçak geçiren ve yüksek geçiren filtrelerin ard arda bağlanmasıyla oluşurlar. Bant geçirgen filtreler istenilen frekans aralığındaki frekans parçalarının geçişini mümkün kılarken aralık dışındaki frekans geçişlerini engellemektedir. Sırasıyla, yüksek geçiren filtre ve alçak geçiren filtrenin ucuca bağlanmasıyla bant geçirgen filtreler elde edilebilir. Örnek transfer fonksiyonun frekansa göre karakteristiği Şekil 2.15'deki gibi olacaktır (bu filtre ile  $f_1$ - $f_2$  frekans aralığındaki parçaların geçişi amaçlanmaktadır).



Şekil 2.15. Bant geçirgen filtre karakteristiği

Bant durduran filtreler ise belirlenen frekans aralığındaki frekans parçalarının durdurulmasını amaç kılar. Sırasıyla, alçak geçiren ve yüksek geçiren filtrenin ucuca bağlanmasıyla elde edilen bant durduran filtrenin örnek transfer fonksiyonunun frekansa göre davranışını Şekil 2.16 göstermektedir.

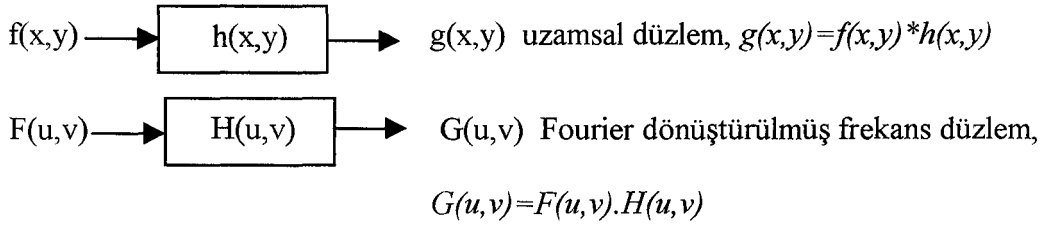




Şekil 2.16. Bant durduran filtre karakteristiği

### 2.12.4 Frekans Alanı Yöntemleri

Frekans alanı yöntemlerinin esası Fourier dönüşüm teoremine dayanmaktadır. Fourier dönüştürülmüş eşitlik frekans alanında evrişim (convolution) olarak ifade edilir. Bir görüntünün Fourier dönüşümü, onun içindeki uzamsal frekansların varlığını gösterir [21].



Şekil 2.17. Uzamsal düzlemde evrişim ve frekans düzleminde çarpma

Fourier dönüştürülmüş  $g$ ,  $h$  ve  $f$  sırasıyla;  $G$ ,  $H$  ve  $F$  ile gösterilir (Şekil 2.17). Matematiksel olarak;  $G(u,v)=H(u,v).F(u,v)$  şeklinde ifade edilir. Doğrusal sistem teorisi terminolojisine göre  $H(u,v)$  transfer fonksiyon olarak adlandırılır [21].  $H$ 'nin büyüklüğü ise modülasyon transfer fonksiyondur.

$M \times N$  boyutunda bir görüntünün Fourier dönüşümü ise;

$$F(u, v) = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(x, y) \exp[-j2\pi(u \cdot x / M + v \cdot y / N)] \quad (2-13)$$

$$u = 0, 1, 2, \dots, M - 1$$

$$v = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Uzamsal alandaki evrişim işlemi frekans alanında çarpma işlemine karşılık gelir ( $f(x) * h(x) \xleftrightarrow{F} F(u) \cdot H(u)$ ).

$$f(x, y) * h(x, y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) \cdot h(x - m, y - n) \quad (2-14)$$

Uzamsal düzlemde evrişim formülü (2-14)'deki ifadeyle özetlenebilir. Eşitlikte  $M$  ve  $N$  uzamsal görüntü boyutlarını temsil ederken;  $f$ , görüntü fonksiyonu;  $h$  ise transfer fonksiyonu ifade etmektedir. Bu ifadede  $h$  pozisyonu sabit bir operatördür yani sonucu sadece  $f(x, y)$ 'nin o noktadaki değerine bağlıdır. Aynı zamanda bu ifade bir maskenin görüntü üzerinde gezdirilmesi işleminin matematiksel anlamda yazılımını da açıkça belirtmektedir.

Frekans alanında yapılan görüntü iyileştirme işleminden sonra tekrar uzamsal boyuta dönebilmek ters Fourier dönüşümünü ( $F^{-1}$ ) gerektirir. İfadesi eşitlik (2-15)'de verilmiştir.

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) \cdot \exp[j2\pi(u \cdot x / M + v \cdot y / N)]; \quad (2-15)$$

$$u = 0, 1, 2, \dots, M - 1; \quad v = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

$$g(x, y) = F^{-1} \{F(u, v) \cdot H(u, v)\} \quad (2-16)$$

Uzamsal alan yönteminde kullanılan matematiksel ifadelerin işlem sayısı fazladır. Frekans alanındaki analiz ise bu işlem yükünü azaltmakta, sistemin hızını arttırmaktadır. Fakat, frekans alanında yapılan işlemler görüntü üzerinde bazı bozulmalar meydana getirebilir.

## 2.13 Ortanca Filtre

Görüntü iyileştirme tekniklerinin çoğu, girdi piksellerin yerel komşuları üzerinde uygulanan matris uzayı işlemlerinden ibarettir. Ortanca filtre, kenarları koruduğu ve keskinleştirdiği için, kenarların çıkartılması gereken analizlerde çok etkilidir.

Düzgünleştirme metodunun en temel problemlerinden birisi, görüntü içerisindeki kenarların ve ayrıntıların zayıflamasıdır. Deneysel sonuçlarda alçak geçirgen filtre işlemi sonucunda gürültün büyük oranda süzülmesi görülmüştür. Fakat bulanıklaşmanın oluşması sonucu kenarlar ve ayrıntılar keskinliğini kaybetmektedir. Daha az bulanıklaşmaya karşılık gürültünün zayıflatılmasına alternatif bir yaklaşım ortanca filtrenin kullanılmasıdır. Buna göre ortanca filtre işlemi; görüntüdeki her bir pikselin gri seviyesinin, bu piksellerin komşuluğundaki gri seviyelerin toplamının ortalaması ile değil, ortanca değeri ile yer değiştirmesi mantığına göre çalışmaktadır [21].

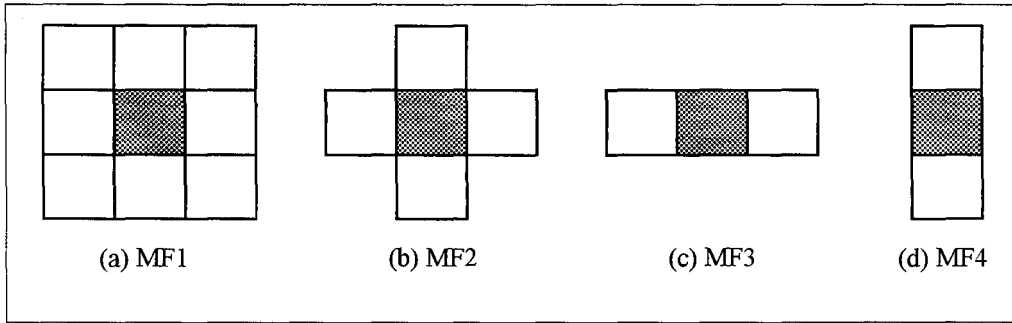
Ortanca filtreler; görüntülerdeki tuz-biber (salt&pepper noise) gürültüsünü ve dürtün veya benek gürültüsünü (impulsive or speckle noise) azaltmak için kullanılan doğrusal olmayan bir alçak geçirgen filtre işlemidir [21].

Ortanca filtre için çeşitli maskeler mevcuttur. Filtre için kullanılacak olan maske içerisindeki hücre sayısı  $N$  olmak üzere, maskenin görüntü üzerine yerleştirilmesi durumunda o maske içerisindeki ortanca pozisyonu;  $m=(N+1)/2$  eşitliği ile verilir. Burada  $m$  değeri ortanca parlaklığıdır. En popüler ortanca filtre,  $N$ 'nin tek sayı durumu için türetilir. Ortanca filtredeki mantık; seçilen filtre maskesinin tam ortasındaki hücre (Bkz. Şekil 2.18'deki koyu hücreler), görüntü içerisindeki her bir piksel üzerine gelecek şekilde ortanca filtre maskesi, iki boyutlu diziye aktarılmış olan sayısal görüntünün pikselleri üzerinde kaydırılır. Her bir kaydırma sonucunda pencere içerisinde bulunan gri seviye küçükten büyüğe sıralanır. Bu değerlerin  $(N-1)/2$  adedinden büyük ama kalıp içerisinde kalan diğer piksel değerlerinden küçük olan ilk değer, ortanca parlaklığıdır.

Örneğin Şekil 2.18a'daki ortanca filtre maskesi için  $N$  olarak 9 alınmıştır. Filtre sonucunda elde edilen görüntüdeki yeni piksel değerleri, bu maske içerisindeki 9 değerini küçükten büyüğe sıralanması sonucunda elde edilen

dizideki  $(9-1)/2=4$ 'üncü değerden büyük olan ilk değerdir (yani 5'inci değeri). Bu işlem; ortanca filtre maskesinin, görüntüdeki bütün pikseller üzerine uygulanmasıyla tüm bir görüntü için gerçekleşir.

Daha yalın bir ifadeyle ortanca filtre için algoritma, penceredeki piksel değerlerinin artan veya azalan sırada ayarlanmasını ve orta değerın alınmasını gerektirir. Bu özelliği ile *sıra istatistiksel filtre* olan ortanca filtreler, daha önce bahsedilen alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren ve bant durduran filtrelerden ayrılır.



Şekil 2.18: Ortanca filtre maske çeşitleri: (a)- kare, (b)- +, çapraz, (c)- yatay ve (d)- dikey

Kullanılan bir ortanca filtrede çerçevenin büyüklüğü önemli bir parametredir. Çerçeve büyüklüğünün seçimi görüntünün içeriğine bağlıdır. Maskenin görüntü üzerine yerleştirilmesi durumunda, eğer pencere içinde kalan gürültülü piksel sayısı kalıbın tam piksel sayısının yarısına eşit veya daha fazla ise filtrenin performansı düşük olur. Bu nedenle, en iyi filtre boyutunu bulmak için, değişik boyutlarda ortanca filtreler kullanarak elde edilen sonuçların değerlendirilmesi daha doğru olur.

Ortanca değerini bulabilmek için,  $m=(N+1)/2$  olan ortanca en büyük değer olduğundan, bunun taranması için aşağıdaki formül oluşturulabilir.

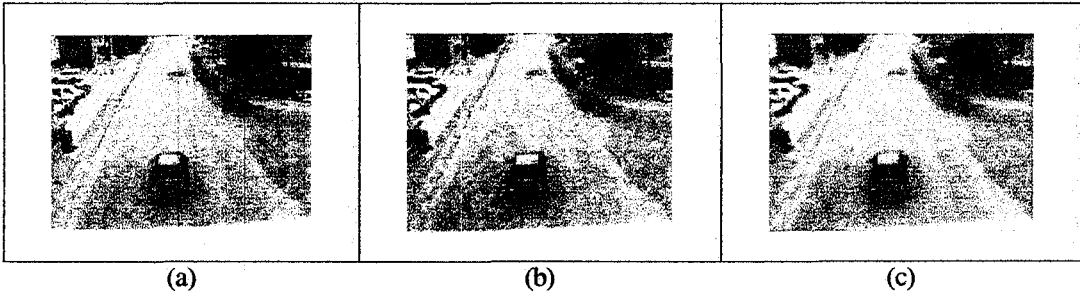
$$(N-1) + (N-2) + \dots + (N-1)/2 = 3(N^2-1)/8 \quad (2-17)$$

Formülden de anlaşılacağı gibi, tarama işlemi için  $(3x(N^2-1)/8)$  tane karşılaştırma işlemi yapmak gerekecektir. Bu işlem sayısı  $3x3$  boyutlu bir filtre kalıbı için 30 ( $N=9$  olacağı için),  $5x5$  boyutlu bir filtre penceresi için ise 234 ( $N=25$  olduğundan dolayı) olur. İşlem sayısını azaltmak ve 2-boyutlu ortanca filtrenin basamak

fonksiyonuna etkisini ortadan kaldırmak için ayrılabilir ortanca filtreler kullanılabilir (Bkz. Şekil 2.18). Ayrılabilir ortanca filtreler, 1-boyutlu ortanca filtrenin (yatay ve dikey yönde) görüntüdeki her bir satır ve sütuna ayrı ayrı uygulanmasıyla elde edilmektedir. Diğer bir pratik ortanca tipi ise çapraz (+) ortanca filtre tipidir (Bkz. Şekil 2.18b).

Görüntüdeki tek piksel kalınlığındaki çizgiler ve köşeler ortanca filtre sonrasında kaybolmaktadır. Amaca göre kullanılacak maske tipi bu sorunu giderebilir. Örneğin; kare (MF1) tipinde maske yerine, +, çapraz (MF2) tipinde maske kullanılırsa yatay ve dikey ekseninde çizgiler korunmuş olur.

Şekil 2.19'da aynı görüntünün  $3 \times 3$ 'lük bir ortanca filtre kalıbıyla ve  $3 \times 3$ 'lük bir alçak geçiren filtre kalıbıyla süzölmüş şekilleri görülmektedir. Orijinal resimdeki gürültü iki filtrede de büyük oranda süzölmüştür; ancak ortanca filtre sonucunda bulanıklaşmanın daha az olduğu gözlenmektedir.

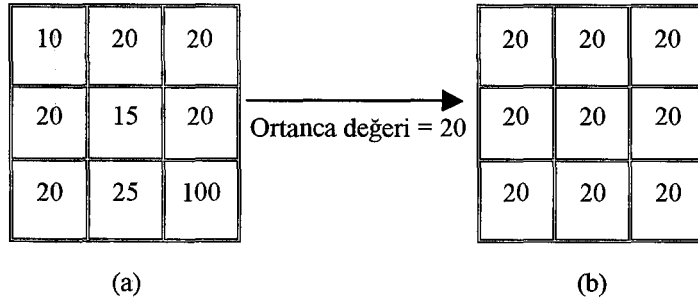


Şekil 2.19. Ortanca maskeleri: (a)- orijinal renkli resim, (b)-  $3 \times 3$ 'lük ortanca filtre ile filtrelenmiş resim, (c)-  $3 \times 3$ 'lük alçak geçiren filtre ile filtrelenmiş resim

“Ortanca filtrede girdi piksel, pikseli saran penceredeki piksellerin sıra ortalamasıyla değiştirilir” [21] ifadesinin matematiksel yazılımı aşağıdaki gibi olacaktır;

$$v(x, y) = \text{medyan} \{ y(x-k, y-l), (k, l) \in W \} \quad (2-18)$$

Bu ifade de  $W$  uygun olarak seçilen 2-boyutlu (2-D) penceredir. Ortanca filtrelenecek  $3 \times 3$ 'lük görüntü parçasının gri seviye değerleri sırasıyla; 10, 20, 20, 20, 15, 20, 20, 25 ve 100 olsun. Ortanca filtre için dizilen bu değerler 10, 15, 20, 20, 20, 20, 25, 100 şeklini alır. Burada 9 değer vardır ve bu dizinin ortanca değeri (5'inci değeri) 20'dir. Buna göre ortanca filtrelenen bu resim parçasının yeni piksel değerleri 20 olacaktır (Bkz. Şekil 2.20).



**Şekil 2.20.** Ortanca filtreleme: (a)- orijinal resim, (b)- ortanca filtrelenmiş resim

Herhangi bir yakın çevre içindeki pikseller büyüklük sırasına dizilince, orta değer yerine başka bir değer de ortanca filtre için baz alınabilir. Yakın çevredeki en düşük değeri almak parlak nesnelere küçültürken; büyüğe yakın değerleri almak parlak nesnelere büyütecektir. Karanlık bir fon üzerinde kaybolabilecek parlak bir yol, en büyük ortanca değeri baz alınarak daha görünür hale getirilebilir.

Ortanca filtrelerin sahip olduğu özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Ortanca filtre, görüntü içerisindeki parlaklıkların değişimini azaltır. Bundan dolayı ortanca filtre, belirli bir şekilde görüntü yapısını değiştirme kabiliyetine sahiptir.
- Eğer görüntü içerisindeki bölgesel gürültü dağılımı ortanca filtreyi çevreleyen çerçeve içerisinde simetrik değilse ortanca filtreler görüntü parlaklığı ortalama değerini değiştirir.
- Ortanca filtreler belirli olan kenar (ayrıt) çizgilerini korur. Bu, çok geçişli ortanca filtre gerçekleştirilmede önemlidir. Çünkü ortanca filtrenin sabit noktaları öncelikle kenarlar ve değişmez eğilimli bölgelerdir.
- Simetrik bir ortanca filtre, kenarların yerini korur.
- Ortanca filtrenin görüntü üzerine uygulanması sonucunda yeni gri seviye değerleri üretilmez. Sadece ilgilenilen pikselin gri seviyesinin yerini aynı komşuluk içerisinde bulunan başka bir gri seviye değeri alır. İkili görüntüler ikili olarak kalır ve ortanca filtrelenmiş görüntünün dinamik aralığı giriş görüntüsünün dinamik aralığını aşamaz.
- Ortanca filtre için seçilen çerçeve şekli görüntüyü işleme sonuçlarını etkileyebilir.

- Bloğun içerisinde hareket eden bir cisim varsa, ona ait imgecikler toplu halde bulunacaklarından ortanca süzgeçten fazla etkilenmeyeceklerdir.
- Doğrusal olmayan bir filtredir. Bu nedenle  $x(m)$  ve  $y(m)$  serileri için;

$$\text{medyan}\{x(m) + y(m)\} \neq \text{medyan}\{x(m)\} + \text{medyan}\{y(m)\} \text{ 'dir. (2-19)}$$

- Uzaysal çözünürlük korunurken, ayrık çizgilerin veya piksellerin kaldırılmasında faydalıdır. Ortanca filtreler, ikili gürültü içeren görüntülerde çok iyi performans gösterirken, gürültü Gauss olduğu zaman yetersiz kalmaktadır.
- Pencere içerisindeki gürültü piksellerinin sayısı, penceredeki piksellerin sayısının yarısı veya sayısından daha büyük ise filtrenin performansı yetersiz kalmaktadır.

Bu tez çalışması için kullanılan resim karelerindeki istenmeyen gürültü parçalarının giderimi için ortanca filtre kullanılmıştır.

## 2.14 Nesne Çıkarımı

Görüntü analizinde uygulanacak nesne çıkarımı yöntemleri eldeki probleme göre değişkenlik gösterir. Mesela resimde bir cisim bulma problemi için, renk analizi, veri tabanı ile karşılaştırma iki ayrı yöntem olarak sunulabilir. Eğer bulunacak objenin rengi sabit ise, resimde o renk değerine sahip olan piksel gruplarının markalanması, renkli resimde sabit renkli obje tespiti için en uygun yöntemdir. Bulunması istenen nesnenin şekli belli ise, incelenecek görüntü üzerine doğru maske uygulanarak, maske-nesne uyumu ile aranan cisim bulunabilir. Bu yöntem, veri tabanında oluşturulmuş şekillerin resimde aranması metodu ile, farklı şekle sahip nesnelerin, incelenen görüntüde bulunmasını sağlayacaktır. Burada önemli olan sadece uygulanacak maskenin probleme göre seçilmesidir.

Başka bir yöntem ise resimdeki kenar, çizgi ve noktaların renk geçişlerindeki farklılıklarla tespit edilmesi ve yorumlanmasıdır. Görüntüdeki piksel devamsızlıklarıyla kenar ve çizgilerin yanı sıra renk geçişinin olduğu pikseller de bulunabilmektedir.

### 2.14.1 Nokta Tespiti

Bahsedildiği gibi uygun maske seçimi nokta tespiti için önemlidir.  $3 \times 3$ 'lük bir maske detay için önemlidir. Fakat resim büyüklüğüne göre yapılacak işlem sayısı göz ardı edilmemelidir.

Sabit arka alandan izoleli noktanın tespiti için aşağıdaki  $3 \times 3$ 'lük maskenin resme uygulanması yeterli olacaktır. Uygulamanın formülü;

$$R = \sum_{i=1}^9 w_i \cdot z_i \quad (2-20)$$

olur. Bu eşitlikte  $R$  maske değerini,  $w$  maske sabitlerini,  $z$  ise görüntüdeki piksel değerlerini temsil etmektedir.  $R$ 'nin belirlenen eşik değerinden büyüklüğüne bakılarak görüntüdeki ilgililenen noktalar bulunabilmektedir (Şekil 2.21).

$w_1 = -1$	$w_2 = -1$	$w_3 = -1$
$w_4 = -1$	$w_5 = 8$	$w_6 = -1$
$w_7 = -1$	$w_8 = -1$	$w_9 = -1$

Şekil 2.21. Nokta tespiti için uygulanan maske

### 2.14.2 Çizgi Tespiti

Tek piksel kalınlığındaki çizgilerin tespitinde kullanılan maske karakteristikleri Şekil 2.22'de gösterilmiştir. İlk maskede yatay çizgi maskenin orta satırına geldiğinde maske değeri maksimuma ulaşmaktadır. Diğer örneklerde ise  $+45^\circ$ 'lik, dikey ve  $-45^\circ$ 'lik çizgiler, uygulanan bu maskelerle bulunabilmektedir.



-1	-1	-1
2	2	2
-1	-1	-1

-1	-1	2
-1	2	-1
2	-1	-1

-1	2	-1
-1	2	-1
-1	2	-1

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2

(a) Yatay      (b) +45°      (c) Dikey      (d) -45°

Şekil 2.22. Çizgi tespiti için uygulanan maskeler: (a)- yatay çizgi tespiti, (b)- +45°'lik çizgi tespiti, (c)- dikey çizgi tespiti ve (d)- -45°'lik çizgi tespiti

Şekildeki maske katsayıları (2'ler) değiştirilerek incelenen resim üzerinde farklı açılardaki çizgiler de bulunabilmektedir.

### 2.14.3 Kenar Tespiti

Görüntü analizinin en önemli problemlerinden biri de kenarların belirlenmesidir. Kenarlar objelerin sınırlarını karakterize eder. Diğer bir deyişle görüntüdeki anlamlı devamsızlıklar kenar olarak adlandırılır. Bu nedenle resimdeki nesnelerin kesimlenmesi, kayıt altına alınması ve tanımlanması için kenarlarının bulunması şarttır. Kenar noktaları, ani gri seviyeleri değişimlerinin piksel konumları gibi düşünülebilir.

Kenar, iki ayrı bölgeyi birbirinden ayıran hattır. Bir görüntünün kenarları, görüntü siyah-beyaz ise gri seviyelerinin, renkli ise renk değerlerinin ani ya da durağan artış ya da azalma gösterdiği yerlerdir. Görüntü kenarları, insan gözünün en dikkat ettiği ayrıntılardır.

Kenar tespitinde yerel türev operatörleri kullanılmaktadır. Türev işlemi geçiş noktalarını keskinleştirmektedir. Böylece zıtlıklar ve resimdeki keskin geçişler daha kolay bulunmaktadır. Devamlı bir görüntü  $f(x,y)$  için, türevinin kenarların yönünde yerel maksimum olduğu varsayılır [21]. Gri seviyeli resimde renk geçiş profiline ve bu profilin sıralı türevleri Şekil 2.24'deki gibi olmalıdır. Türev fonksiyonun büyüklüğü görünen kenarı temsil ederken işareti ise renk geçişi hakkında bilgi vermektedir. Koyudan açığa geçişlerde fonksiyonun birinci türevi pozitif işaret alırken, açıktan koyuya geçişlerde negatif işaret almaktadır. Fonksiyonun ikinci türevinin sıfıra ulaştığı bölgeler ise kenarları temsil etmektedir. Sayısal görüntülerde türev Şekil 2.23'deki görüntü için aşağıdaki şekilde tanımlanır:

	$f(i-1,j-1)$	$f(i,j-1)$	$f(i+1,j-1)$
$f(x,y)=$	$f(i-1,j)$	$f(i,j)$	$f(i+1,j)$
	$f(i-1,j+1)$	$f(i,j+1)$	$f(i+1,j+1)$

Şekil 2.23. Örnek görüntü parçası ve koordinatları

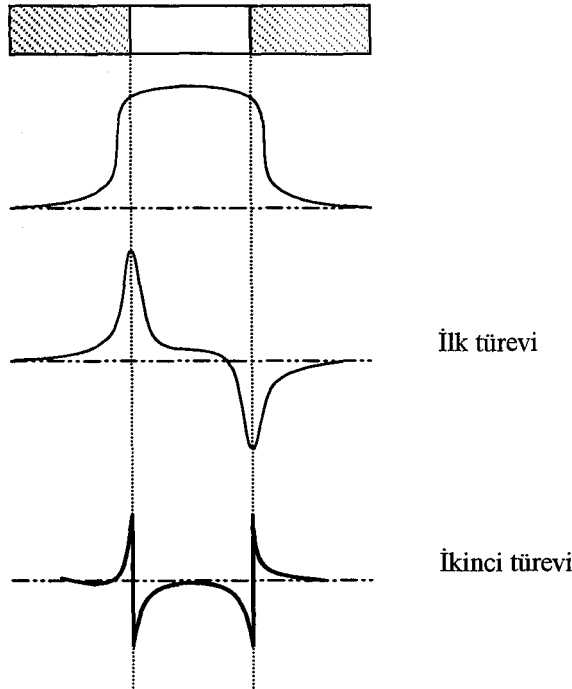
$$\frac{\partial f(i,j)}{\partial x} = f(i,j) - f(i-1,j); \quad \frac{\partial f(i,j)}{\partial y} = f(i,j) - f(i,j-1) \quad (2-21, 22)$$

Üst mertebeden türevler de benzer şekilde hesaplanabilir;

$$\frac{\partial^2 f(i,j)}{\partial x^2} = \frac{\partial f(i+1,j)}{\partial x} - \frac{\partial f(i,j)}{\partial x} = f(i+1,j) + f(i-1,j) - 2 \cdot f(i,j) \quad (2-23)$$

$$\frac{\partial^2 f(i,j)}{\partial y^2} = \dots = f(i,j+1) + f(i,j-1) - 2 \cdot f(i,j) \quad (2-24)$$

Bir görüntünün türevi alındığında elde edilen fonksiyonun da bir görüntü fonksiyonu olduğu yukarıdaki eşitliklerden çıkarılabilir.



Şekil 2.24. Renk geçiş profili ve bu profilin türev fonksiyonları

İkili (binary) görüntüdeki kenar noktalarını, beyaz en yakın komşusu olan siyah piksel olarak tanımlamak uygundur.  $(x,y)$  konumundaki bir piksel için  $f(x,y)=0$  ve  $g(x,y)=1$  olduğunda mantıksal ifadesi aşağıdaki denklikle belirtilebilir.

$$g(x, y) \cong [f(x, y) \oplus f(x \pm 1, y)] \cdot [f(x, y) \oplus f(x, y \pm 1)] \quad (2-25)$$

Formülde  $\oplus$ , mantık X-OR işlemini ifade etmektedir.

Görüntü işleme tekniklerinde en fazla kullanılan türev metodu gradyandır (gradient). Vektör analizinde ise fonksiyonun oranının en fazla değişiminin olduğu yöndeki noktalar gradyan ile bulunmaktadır.  $f(x,y)$  fonksiyonun yönsel gradyanı aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2-26)$$

$\nabla f$ ,  $f(x,y)$  fonksiyonun,  $\nabla f$  yönünde ve birim mesafedeki en fazla artışını temsil etmektedir. Gradyan operatörünün yönü  $[\alpha(x,y)]$  önemli bir faktördür.

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (2-27)$$

Burada  $\alpha$  açısı yatay eksene ( $x$  ekseni) göre ölçülmektedir.

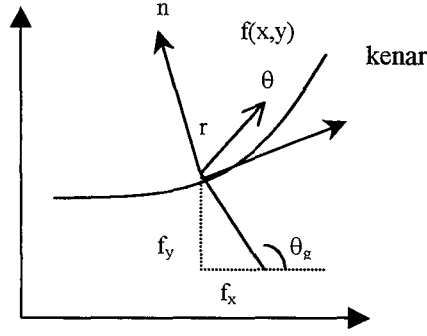
Görüntü fonksiyonu olan  $f$  'in,  $r$  boyunca,  $\theta$  yönündeki gradyanı Şekil 2.25'den çıkarılacağı üzere aşağıdaki eşitlikteki gibi olacaktır.

$$\frac{\partial f}{\partial r} = \frac{\partial f}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial f}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial r} = f_x \cdot \cos \theta + f_y \cdot \sin \theta \quad (2-28)$$

$\frac{\partial}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial f}{\partial r} = 0$  olduğunda  $(\partial f / \partial r)$ 'in maksimum değeri elde edilir. Bu da;

$$-f_x \cdot \sin \theta_g + f_y \cdot \cos \theta_g = 0, \theta_g = \tan^{-1}\left(\frac{f_y}{f_x}\right) \quad (2-29, 30)$$

ifadesini vermektedir.



Şekil 2.25.  $f(x,y)$ 'nin gradyanı

Burada  $\theta_g$  kenarın yönüdür.  $f_y$  ve  $f_x$ , alt indislerine göre,  $f(x,y)$ 'nin dikey ve düşey ortogonal gradyanlarını temsil etmektedir. Büyüklük ise aşağıdaki formülle bulunur.

$$\left(\frac{\partial f}{\partial r}\right)_{\max} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (2-31)$$

Yukarıda bahsi geçen  $f_x$ ,  $f_y$  ortogonal gradyanı veya  $(\partial f/\partial r)$  yönsel gradyanı, sonlu-fark yaklaşımını temsil eden maskelerdir.  $f(x,y)$  sayısal görüntüsüne uygulanan  $h$  maskesi için  $(x,y)$  koordinatındaki iç çarpımını ilinti (correlation) olarak ifade edersek aşağıdaki denklik ortaya çıkmaktadır.

$$\langle F, H \rangle_{x,y} \triangleq \sum_i \sum_j h(i,j) \cdot f(i+x, j+y) = f(x,y) * h(-x,-y) \quad (2-32)$$

$H$ ,  $p \times p$  boyutunda gradyan maskesini temsil etmektedir.

## 2.15 Gradyan Operatörleri

Gradyan operatörleri  $H_1$  ve  $H_2$ 'den oluşan bir çift maske ile belirlenir. Bu maskeler  $f(x,y)$  görüntüsünün  $x$ - $y$  ortogonal yöndeki iki gradyanını ölçer. Aynı zamanda  $H_1$  ve  $H_2$  maskeleri birbirinin satır-sütun dönüşümlü halleridir (Bkz. Şekil 2.26). İki yönlü gradyanları;

$$g_1(x,y) \triangleq \langle F, H_1 \rangle_{x,y} ; g_2(x,y) \triangleq \langle F, H_2 \rangle_{x,y} \quad (2-33, 34)$$

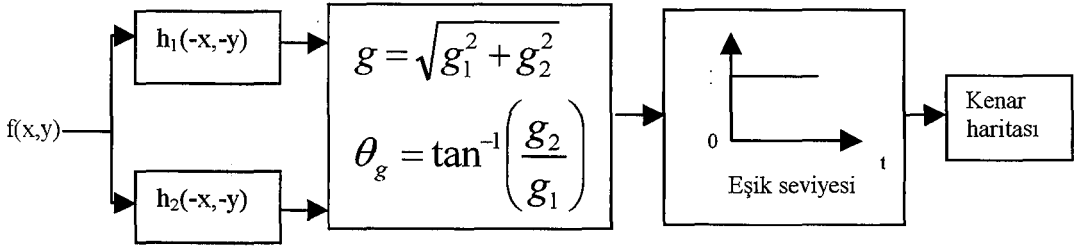
olarak tanımlarsak, gradyan vektörünün büyüklük ve yönleri;

$$g(x, y) = (g_1^2(x, y) + g_2^2(x, y))^{1/2}; \theta_g(x, y) = \tan^{-1} \frac{g_2(x, y)}{g_1(x, y)} \quad (2-35, 36)$$

ile hesaplanır. Büyüklük gradyanı genellikle;

$$g(x, y) \triangleq |g_1(x, y)| + |g_2(x, y)| \quad (2-37)$$

formülü ile hesaplanır. Daha hızlı olduğu ve tepkiyi daha çabuk verdiği için bu hesaplama yolu tercih edilir.



Şekil 2.26. Kenar haritası akış diyagramı

Roberts, Prewitt, Sobel ve Isotropic operatörler, sık kullanılan gradyan operatörleridir. Bu işletmenler yerel toplamların yatay ve dikey farkları hesabını esas alır. Bu temel sayısal görüntüdeki gürültünün etkisini azaltmaktadır.

Gradyan operatörler sadece ayrıtlara değil, ayrılmış noktalara da cevap verir. Prewitt operatörü çapraz ayrıtlara zayıf cevap verirken, Sobel bu ayrıtlara daha güçlü cevap verir. Çünkü Sobel, üzerindeki noktaya yakın noktalara daha büyük ağırlık verir. Prewitt ve Sobel operatörleri diğerlerine nazaran daha küçük gürültü ağırlığına sahiptir. Yani bu operatörlerin gürültülü resimlerde yumuşatıcı etkisi daha fazladır.

Kullanılan maske operatörlerinin isimleri ve transfer fonksiyonları Çizelge 2.3'de verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Gradyan operatörleri ve transfer fonksiyonları (“< >” içinde belirtilen değerler maskenin orijini)dir)

Operatör ismi	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>
Roberts	$\begin{bmatrix} <0> & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} <1> & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$
Prewitt	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & <0> & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & <0> & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
Sobel	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & <0> & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & <0> & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$
Isotropic	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -\sqrt{2} & <0> & \sqrt{2} \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & <0> & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{bmatrix}$

Dikkat edildiği üzere, sabit sayının türevi 0 olacağı için, türev operatör maskelerinin katsayıları toplamı da 0'dır.

$(x,y)$  piksel konumu, uygulanan maske sonrasında  $g(x,y)$ 'yi vermektedir. Eğer  $g(x,y)$  belirli bir  $T$  eşik seviyesini aşıyorsa kenar konumu olarak tanımlanır. Kenar noktalarının konumları bir kenar haritası  $\varepsilon(x,y)$ 'yi oluşturur. Bu da;

$$\varepsilon(x,y) = \begin{cases} 1, & (x,y) \in I_g \\ 0, & (x,y) \notin I_g \end{cases} \quad ; \quad I_g \triangleq \{(x,y); g(x,y) > T\} \quad (2-38, 39)$$

olarak ifade edilir.

Kenar haritası, sayısal görüntüdeki obje kenarlarının takip edilmesi için gerekli verileri sağlar. Genellikle  $T$ ,  $g(x,y)$  için birikimli (cumulative) histogramı kullanarak seçilebilir, bunun sonucunda da en yüksek gradyana sahip piksellerin %5 ile %10'u kenar olarak tespit edilir.

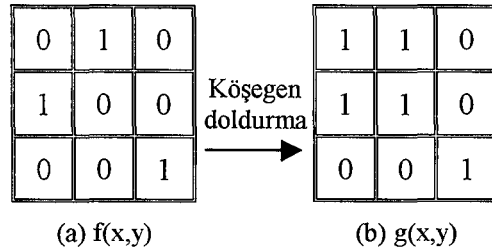
Bu tez çalışmasında resimlerdeki cisim kenarlarının tespiti için Sobel gradyan operatörü kullanılmıştır.

## 2.16 Morfolojik Operatörler

Görüntü parçalarının çıkarılmasında ve anlaşılmasında morfolojik operatörler önem kazanır. Çalışma şekilleri, pikseller arasındaki bağılıkları esas aldığından, ilgilenilen nesnenin şeklinin tespitinde, sınırların belirlenmesinde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Resim üzerindeki gürültü veya veri kaybı nedeniyle analiz hatalarının minimize edilmesinde bu operatörler kullanılmaktadır.

### 2.16.1 Köşegen Doldurma

Arka plan görüntüsündeki 8’li bağılığı engelleyen piksellerin köşegen doldurulmasını sağlayan operatörlerdir. Orijinal görüntüye  $f(x,y)$ , köşegen doldurma fonksiyonu uygulanan görüntüye  $g(x,y)$  dersek aşağıdaki şekil oluşacaktır.



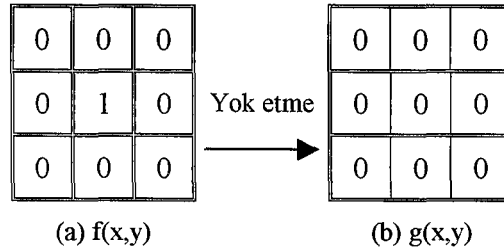
Şekil 2.27. Köşegen doldurma: operatörden (a)- geçecek, (b)- geçen görüntüler

Şekil 2.27a’daki  $f(x,y)$  görüntüsündeki “1” değerleri arka plan görüntüsündeki 8’li bağılığı engellemektedir (0’ların oluşturduğu bağılılık). Bu resme uygulanan köşegen doldurma operatörü ile  $f(x,y)$  görüntüsündeki “1” değerlerinin köşegen komşuları doldurulmuştur (Şekil 2.27b).

Bu operatörle gürültüden kaynaklanan köşe kayıpları iyileştirilmekte ve kayıplar engellenmektedir. Bu çalışmanın, kenar haritalarının iyileştirilmesi safhasında köşegen doldurma fonksiyonu kullanılmıştır.

### 2.16.2 Yok etme

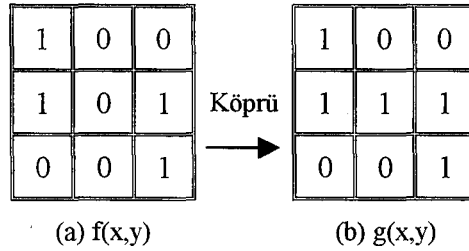
Kenar bulma yöntemi ile izole edilmiş olan piksellerin görüntüden ayıklanmasını gerçekleştiren fonksiyondur (Şekil 2.28). Bu yöntemle diğer piksellerden soyutlanmış tek birimlik pikselleri elimine etmek mümkündür. Bu çalışmada, kullanılan bu metotla arka plan görüntüsünden izole olmuş tek birimlik gürültü pikselleri yok edilmiştir.



Şekil 2.28. Yok etme: operatörden (a)- geçecek, (b)- geçen görüntüler

### 2.16.3 Köprü Bağlantısı

Köprü bağlantısı sayesinde, şekil olarak köprüye benzeyen ve bağlı olmayan pikseller birbirine bağlanmaktadır. Fonksiyon uygulanmadan önceki ve sonraki görüntüler şekilde verilmiştir.



Şekil 2.29. Köprü bağlantısı: operatörden (a)- geçecek, (b)- geçen görüntüler

Çalışmamızda da bu yöntemle kenar zayıflığı veya kaybı neticesinde kopan piksel grupları birbirine bağlanarak hatalar azaltılmaktadır.

Buraya kadar açıklanan tüm görüntü işleme yöntemlerinin yapılan çalışmada kullanımları ve kullanım amaçları bir sonraki bölümde açıklanmaktadır.



### 3. HAREKET ANALİZİ

Trafik akışının ve yoldaki araç durumunun incelenmesi amacıyla hazırlanan bu çalışmada, ele alınan problemin çözümü için video görüntülerindeki hareketli cisimlerin doğru olarak tespit edilmesi gerekmektedir. Standart video işleme yöntemlerinden biri olan “*bölge tabanlı görüntü analizi*” ele alınan problem için uygun görülmüştür. Bu nedenle, bu yöntemin bir varyantı olan ve ardışık video kareleri arasındaki fark görüntülerinden yararlanılarak hareketli cisimleri tespit eden yöntemler problemin çözümü için kullanılmaktadır.

Kaydedilen video görüntülerine analiz sırasında uygulanan tüm yöntemler ve bu yöntemlerin avantajları ile ilgili bilgiler bu bölümde verilmiştir.

#### 3.1 Video

Önemsiz detaylardan ayıklanan arka plan görüntüsünden hareketli cisimleri bulma, tanıma ve işaretleme video görüntülerinde hareket analizi için gereklidir. İki video karesi arasındaki farklılıklar veya değişiklikler ilgilenilen iki karenin piksel-piksel karşılaştırılması ile bulunabilir.

Piksel-piksel denetlemenin bir yolu matematiksel fark işlemine dayanır. Sabit pikseller fark işlemi sonucunda birbirini yok ederek sıfır değerine ulaşacaktır. Hareketli piksellerin olduğu  $(x,y)$  koordinatları ise pozitif veya negatif değer alacaktır. Sıfıra eşit olmayan bu değerler bir eşik değeri ile kıyaslanır. Belirlenen eşiği aşan piksel büyüklükleri hareketli piksel grubunu temsil edecektir.

İki ayrı  $(t_1-t_2)$  zamanda, mukayese edilmek üzere alınan video kareleri  $f_1(x,y,t_1)$  ve  $f_2(x,y,t_2)$  olsun.  $f_1(x,y,t_1)$  ve  $f_2(x,y,t_2)$  arasındaki karşılaştırma işlemi formüle edilecek olursa  $T$  eşiği için;

$$d_n(x,y) = \begin{cases} 1, & |f_2(x,y,t_2) - f_1(x,y,t_1)| > T \\ 0, & |f_2(x,y,t_2) - f_1(x,y,t_1)| \leq T \end{cases} \quad (3-1)$$

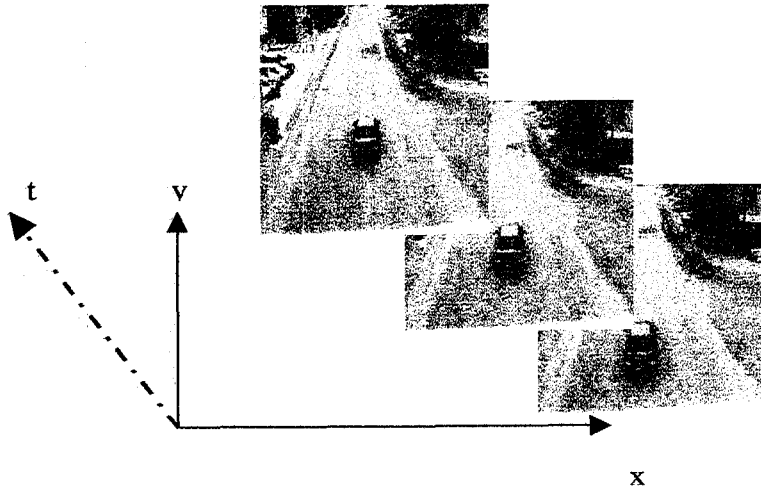
$d_n(x,y)$  görüntüsünü oluşturan  $I$ 'ler ve  $O$ 'lar o görüntünün ikili görüntü (siyah-beyaz) olacağını işaret etmektedir. İkili görüntüler analiz için kolaylıklar

sağlamaktadır. Siyah-beyaz görüntüde piksel değerlerinin iki seviyeli oluşu, ilgilenilen piksellerin koordinat bilgilerine ulaşmayı kolaylaştırır. Orijinal görüntünün  $(x,y)$  koordinatındaki renk değerinin, ikili görüntüde kendisine karşılık gelen aynı noktaya atanması; sonuçta renkli resim elde edilmesini mümkün kılar.

İlgilenilen video karesinde yer değiştirdiği tespit edilen piksellerin mesafeleri hesaplanarak ne kadar yer değiştirdiği bulunabilmektedir. Böylece iki kare arasında oluşan hareketin hızı hakkında da bilgi sahibi olunmaktadır.

### 3.2 Frekans Boyutunda Hareket

Video görüntüleri ard arda dizilmiş resim kareleri olarak da adlandırılır (Şekil 3.1). Bu tanımdan yola çıkarak video görüntüsünün formülü,  $f(x,y,t)$ ;  $t=0,1,\dots,T-1$  olarak tanımlanabilir.  $T$  anına kadar alınan  $f(x,y)$  sayısal resim karelerinin zaman ekseninde dizili fonksiyonu  $f(x,y,t)$ 'yi oluşturmaktadır. Bir sabit kamerayla kaydedilen  $M \times N$  boyutundaki görüntülerin sıfır yoğunluktaki homojen arka plana sahip olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.1. Zaman ekseninde dizili resim kareleri

Ardışık resim dizilerinde aynı cisim,  $y$  (dikey eksen) eksenine paralel,  $x$  ekseninde bir piksel hareket etmiş ise ikinci karede olması gereken yer  $(x'+1, y')$  koordinat noktasıdır.

Euler'in formülü [21] kullanılırsa;

$$\exp[j2\pi k_1(x'+1)\Delta t] = \cos[2\pi k_1(x'+1)\Delta t] + j \sin[2\pi k_1(x'+1)\Delta t] \quad (3-2)$$

eşitliği ortaya çıkmaktadır. Burada  $x$  ( $0 \leq x < M-1$ ) uzamsal boyuttaki yatay düzlemi temsil ederken,  $k_1$  pozitif katsayıyı ve  $\Delta t$  iki resim karesi arasındaki zaman farkını gösterir.

Diğer bir deyişle bu formül, frekansı  $k_1$  olan kompleks sinuzoidal ifade etmektedir. Eğer cisim iki resim karesi arasında  $v_1$  piksel kadar hareket etmiş ise ( $x$  yönünde), bu sinuzoidin frekansı  $v_1.k_1$  olacaktır. Kompleks sinuzoidin kesikli Fourier dönüşümünde 2 tepe noktası vardır. Bu noktalar  $v_1.k_1$  frekans noktasında ve  $T-v_1.k_1$  frekans noktasındadır. Fourier spektrumunda  $v_1.k_1$  noktasında tepe mevcut olacaktır.  $v_1.k_1$  değeri  $k_1$ 'e bölünürse  $v_1$  elde edilir ve bu değer hareketli cismin  $x$  yönündeki hızını belirtir. Aynı prosedür  $y$  eksenini için düşünüldüğü zaman, nesnenin  $y$  yönündeki  $v_2$  hızı da hesaplanabilir.

Bu bahsi formülle ifade edecek olursak,  $T$  sayısal resim karesi ( $M \times N$  boyutunda) dizisinin  $x$  ve  $y$  eksenini üzerinde toplam ağırlıklı projeksiyonu aşağıdaki formüldeki gibi olacaktır.

$$g_x(t, k_1) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y, t) e^{j2\pi k_1 x \Delta t} \quad (t = 0, 1, \dots, T-1) \quad (3-3)$$

$$g_y(t, k_2) = \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} f(x, y, t) e^{j2\pi k_2 y \Delta t} \quad (t = 0, 1, \dots, T-1) \quad (3-4)$$

$g_x(t, k_1)$  ve  $g_y(t, k_2)$ 'ye tek yönlü Fourier dönüşümü uygulanırsa eşitlikler aşağıdaki gibi olacaktır.

$$G_x(u_1, k_1) = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} g_x(t, k_1) e^{-j2\pi u_1 t / T} \quad (u_1 = 0, 1, \dots, T-1) \quad (3-5)$$

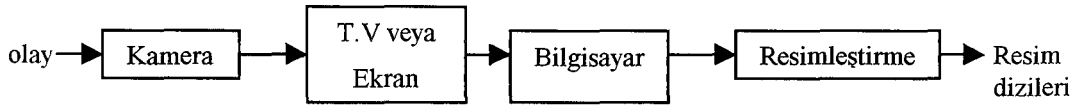
$$G_y(u_2, k_2) = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} g_y(t, k_2) e^{-j2\pi u_2 t / T} \quad (u_2 = 0, 1, \dots, T-1) \quad (3-6)$$

Bu eşitliklerden yola çıkarak hız-frekans bağıntısı  $u_1=k_1.v_1$  ve  $u_2=k_2.v_2$  olur. Örneğin  $v_1=10$ ;  $T$  süresince 10 piksellik hareketi temsil etmektedir. Eğer;  $v_1=10$  ve  $T=30$  iken, saniyede 2 kare alındığı düşünülürse iki piksel arasındaki fark  $0.5m$  ise; x yönündeki gerçek fiziksel hız:

$$v_1 = (10 \text{ piksel}).(0.5 \text{ m / piksel}).(2 \text{ kare / saniye})/30 \text{ kare} = 1/3 \text{ m / san}$$

### 3.3 Deney Görüntülerinin Hazırlanması

Analiz edilecek video görüntülerinin hazırlanması ve bu görüntülerin uygunlaştırılması bu bölümde yapılmaktadır (Şekil 3.2). Analizde kullanılan muhtelif video görüntüleri, sayısal kayıt yapabilen sabit kameralar tarafından kaydedilmiştir.



Şekil 3.2. Deney görüntülerinin hazırlanma aşamaları

#### 3.3.1 Görüntü Edinme

Resimlerin farklı yollarla hareketli piksel gruplarını bulma yönteminde incelenecek resim ile referans resim karesinin kesin olarak üst üste çakışması analizin doğruluğu açısından önemlidir. Bu çalışmanın deney aşamasında kullanılan video görüntüleri yol üzerinde bulunan sabit kameralar aracılığıyla alınmıştır.

Kameraya sayısal olarak kaydedilen bu video parçalarının analiz edilebilmesi için bilgisayara aktarılması gerekmektedir. Bilgisayara görüntü aktarımı iki yolla yapılabilir. Bunlar sayısal ve analog aktarımlardır. Bu çalışmada görüntüler televizyon kartı aracılığıyla, yani analog olarak, bilgisayara aktarılmıştır.

Kayıt yapılan yol ve cismin rengi arasındaki zıtlık az ise, araç bitimi-yol başlangıcı, yol bitimi-araç başlangıcı geçişlerinde, kimi vakit bozulmalar meydana gelmiştir. Bu kenar bozulmaları analog aktarımdan ve nicemleme seviyesinin

azlığından meydana gelmektedir. Ciddi bir kayıp olmayan bu hatalar cismin şeklini bazen 1-2 piksel değiştirmektedir. Deneysel görüntülerde çok nadir rastlanan bu durumdan kaynaklanan hatalar önemsenmemiştir.

### 3.3.2 Resimleştirme

Bilgisayar ekranında bulunan resim “görüntü” olarak adlandırılır. Bir bilgisayar ekranının çözünürlüğü ekrana  $x$  ve  $y$  eksenini boyunca sığabilecek piksel sayısı kadardır. Mesela;  $400 \times 480$ 'lik bir ekranın,  $x$  eksenini boyunca  $400$ ,  $y$  eksenini boyunca  $480$  piksel kapasiteli olduğu anlaşılmaktadır. Çözünürlük yüksek olursa hassasiyet artar, pikseller küçülür ve gözlem açısından daha net bir görüntü oluşur.

Görüntü dosyalarının boyutu analiz için büyük önem taşır. İncelenecek resim karesinin gereğinden büyük olması, analiz süresince uygulanacak yöntemlerde (filtre, kenar bulma ...v.s) matematiksel işlem sayısının artması anlamına gelir. Bu sebepten dolayı, incelenecek resim ebadı problemin türüne ve hassasiyetine göre seçilmelidir. Bu çalışma için  $160 \times 120$  boyutunda video kareleri denenmiş fakat verim alınamamıştır. Kameranin duruş açısı, bu boyuttaki görüntülerde arka arkaya gelen araçların tespitini güçleştirmiştir.

Esasen bir yakın takip alarmı olmayan, iki aracın trafik kuralları dahilindeki arkalı önlü seyri, video karesinin boyundaki yetersizlik nedeniyle, ancak araçlar resim karesinin ortasında yer aldığı anda anlaşılabilir. Bu ise gereksiz alarmlara sebep olmuştur. Fakat video klipinin boyutu  $320 \times 240$  olduğunda bu sakıncalı durum engellenmiştir. Bu şekilde birbirini yakın takip eden araçlar daha erken tespit edilmekte ve sistemin karar süresi kısalmaktadır.

Aktarım esnasında görüntü boyutunun yanı sıra video dönüştürücü yazılımı da önem kazanmaktadır. Dönüştürücüdeki kaybın en azda kalması için hiçbir sıkıştırma tekniği kullanılmamıştır.

Zaman ekseninde sıralı resim karelerinin video görüntülerini oluşturduğundan bahsetmiştik. Sinema gösterimi için 24 resim karesi, televizyon gösterimi için 25 resim karesi 1 saniyelik video görüntüsünü oluşturur.

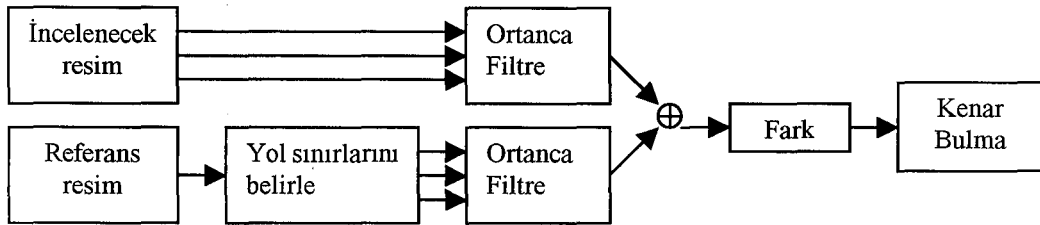
Buradan da anlaşılacağı üzere her bir video dosyası saniyede 25 resimden oluşmuştur. Analiz için bu kliplerinin resimleştirilmesi gerekir. Bilgisayar ortamında bu aşamanın gerçekleşebilmesi için hazırlanan yazılımlardan yararlanılmıştır. Kullanılan bu bilgisayar yazılımları sayesinde 1 saniyelik bir video görüntüsü, 25 resim dosyası haline getirilmiştir.

320x240 boyutundaki her bir renkli resim, veri kaybına sebep olmayacak formatlarda saklanmış ve işlenmek üzere hazır hale getirilmiştir.

Tüm analiz işlemlerinden sonra resimleştirme için kullanılan yazılımlar resimlerin video klip olarak gösterimi için hazırlanmasında araç olmuştur.

### 3.4 Hazırlık Aşaması

Hazırlık aşamasında eldeki görüntünün analizi ile ilgili bilgi verilmektedir. Bu aşamanın evreleri Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Şekildeki üç paralel ok, o işlemin renkli resmi oluşturan her renk bileşenine ayrı ayrı uygulandığını göstermektedir.



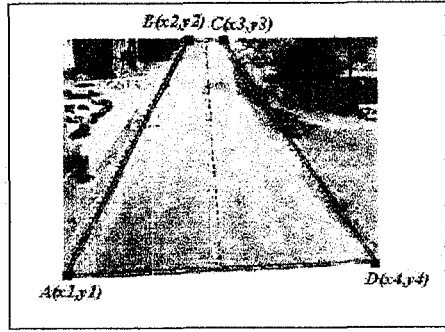
Şekil 3.3. Hazırlık aşaması evreleri

#### 3.4.1 Yol Sınırları

İşlenecek görüntünün tamamı analiz esnasında gerekli olmayabilir. Bu nedenle, analiz için kullanılacak referans resminde yol sınırlarının belirlenmesi ve uygulanacak yöntemlerin bu bölgede gerçekleştirilmesi zaman ve hız açısından büyük kazançlar sağlar.

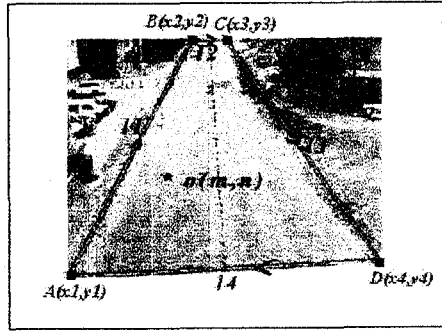
Ele alınan probleme göre tercih edilen bu yöntem sayesinde incelenecek görüntüde bir ilgi bölgesi oluşturulmuştur. İlgi bölgesi, analizin başlangıcında bir defaya mahsus olmak üzere, kullanıcı tarafından oluşturulmaktadır. Fare imleci

yardımla ekrana gelen yol resmi üzerinde yolun köşe koordinatları işaretlenmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Yol resmi üzerinde oluşturulmuş ilgi bölgesi

İşaretlenen bu 4 köşe noktasının sıralı birleşimi sonucunda yol resmini çevreleyen bir dörtgen bölge oluşur. Bu şekilde oluşturulan ilgi bölgesi Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Yol resmi çerçevesi

Kullanıcı yardımıyla belirlenen yol köşe noktaları;  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$  ve  $(x_4, y_4)$  koordinatlarında olsun. Bu noktaların sırasıyla yolun sol-alt, sol-üst, sağ-üst ve sağ-alt köşelerini temsil ettiklerini varsayalım (Şekil 3.5). Oluşturulan bu doğruların denklemleri aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$l_1 \rightarrow y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \quad (3-7)$$

$$l_2 \rightarrow y - y_2 = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} (x - x_2) \quad (3-8)$$

$$l_3 \rightarrow y - y_3 = \frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3} (x - x_3) \quad (3-9)$$

$$l_4 \rightarrow y - y_4 = \frac{y_1 - y_4}{x_1 - x_4} (x - x_4) \quad (3-10)$$

Yukarıdaki eşitliklerdeki “ $\frac{y_m - y_n}{x_m - x_n}$ ” terimi temsil ettiği doğrunun eğimini vermektedir. Bahsi geçen 4 doğrunun sınırlandığı resim bölgesi, tüm resmin en fazla 2/3’üne karşılık gelmektedir. Böylece analiz süresinde 1/3’den daha fazla bir kazanç sağlanmıştır.

### 3.4.2 Gürültü Giderme

Video görüntülerinin bilgisayara aktarımı ve bu kliplerin resimleştirme aşamasında görüntü karelerinde oluşan gürültülerin resim karelerinden ayıklanması gereklidir. Daha sağlıklı bir fark resmine ulaşabilme, ancak resimlerde gürültü olmadığında mümkün olur.

Bu aşamada istenmeyen görüntü bozukluklarının giderilmesi amaçlanmaktadır. Gürültü noktaları resim üzerinde sert geçişler gösterir. Bu sertliklerin giderilmesi için alçak geçiren filtreler kullanılabilir. Fakat görüntü üzerindeki cisimlerin kenarlarının da ani renk geçişlerini temsil ettiği unutulmamalıdır. Yani gürültü giderimi için uygulanacak bir alçak geçiren filtre sonucunda, incelenen video karesi bulanık bir görünüm alacak, resim üzerindeki cisim kenarları zayıflayacaktır. Amaç cisim kenarlarının bulunması olduğundan, alçak geçiren filtrelerin kullanımı yarardan çok veri kaybına neden olur.

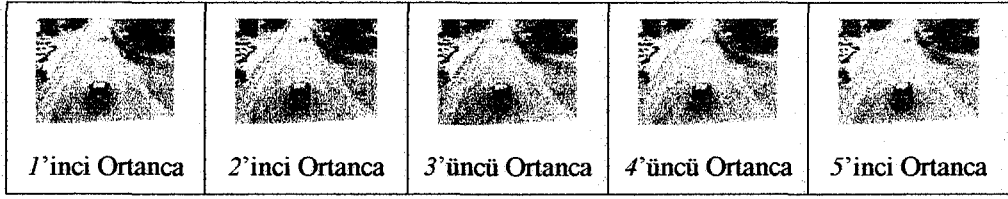
Ortanca filtre, görüntü üzerindeki cisimlerin kenarlarını korur. Çünkü, hareketi temsil eden pikseller resim matrisi içinde bir grup oluşturmaktadır. Grup halinde bulunan bu pikseller ortanca filtreden çok fazla etkilenmez. Fakat fark resmi üzerinde bulunan izole pikseller, yani gürültü parçaları, ortanca filtre ile tamamen ortadan kalkar. Bu ise fark resminin en az gürültü ile bulunmasını sağlar.

Renkli görüntülere ortanca filtrenin uygulanabilmesi; o renkli görüntüyü oluşturan 3 ana renk bileşenine de aynı filtrenin uygulanmasıyla gerçekleşir. Aynı ayrı filtrelenen her bir bileşen üst üste çakıştırılarak, başlangıçtaki renkli görüntünün filtrelenmiş hali elde edilir.



Renkli resim gri seviyeli resme dönüştürülüp ortanca filtreleme aşaması kolaylaştırılabilir. Renkli resmin gri seviyeli resme dönüştürülmesi esnasında veri kaybı olacaktır. Bu kayıpların cisim kenarlarının bulunmasında hatalara sebep olduğu deneysel yöntemlerle doğrulanmıştır.

Fark işlemine tabi tutulacak iki resmin üst üste 5 defa ortanca filtreden geçirilmesiyle resimler üzerindeki gürültülerin en aza indiği ve cisim kenarlarının korunduğu gözlenmiştir. İncelenecek örnek renkli resmin ortanca filtre aşamaları Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.6. Ortanca filtre aşamaları

Şekil 3.6'dan da anlaşılacağı gibi bir resim ortanca filtreden geçtikçe bulanıklaşır. Görüntüdeki bu bulanıklaşmaya rağmen cisim kenarları korunur.

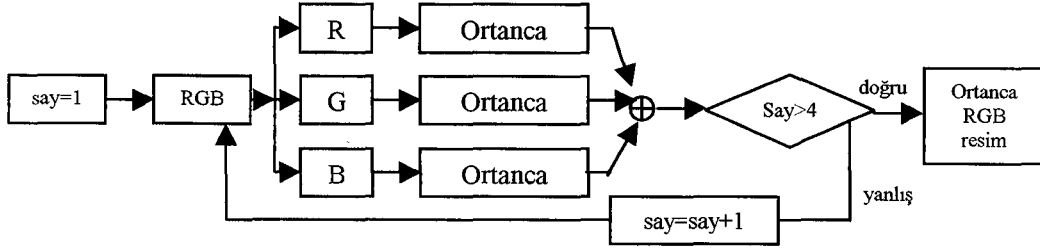
Bu çalışmada kullanılan ortanca filtre boyu  $3 \times 3$ 'tür. Bu pencere boyutunun daha büyük boyutlu pencerelere göre daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Bu filtre boyutuyla video kareleri üzerinde 1 piksel kalınlığındaki tüm gürültüler giderilmektedir. Ayrıca arka plan görüntüsünden izole olmuş gürültüler de elimine edilmektedir. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi kullanılan filtre boyutu büyüdükçe görüntü bulanıklaşır ve resim üzerindeki cismin kenar bilgileri zayıflar.



Şekil 3.7. Çeşitli ortanca filtre kalıplarının sonuçları

Boyutu küçük kalıp için daha fazla matematiksel işlem yapılmaktadır. Ancak dar kalıptaki ortanca maskesinin sağladığı kazançlar, işlem sayısının göz

ardı edilmesi gerektiğini göstermiştir. Ortanca filtre işleminden sonra filtre ile gürültüleri giderilen resimlerin birbirleri arasındaki fark hesaplanır. Ortanca filtre akış diyagramını Şekil 3.8’deki gibi göstermek mümkündür.



Şekil 3.8. Ortanca filtre aşamasının akış diyagramı

### 3.4.3 Resimlerin Farkı

Ortanca filtre ile gürültülerinden arındırılan video kareleri, fark işlemi için hazır hale getirilmiştir.

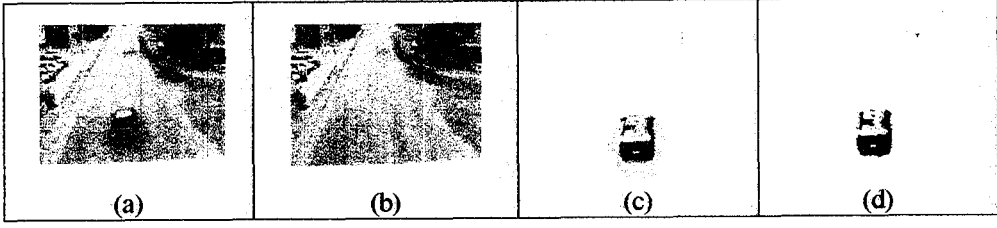
Video serilerini oluşturan resimler arasındaki matematiksel fark ile ardışık iki resim karesinin pikselleri arasındaki değişimler bulunabilir. Bu işlem, yalın yol resminin (referans resim) tüm  $(x,y)$  koordinatındaki piksel değerlerinin, incelenecek yol resminin aynı  $(x,y)$  koordinatındaki tüm piksel değerlerinden çıkartılmasıyla gerçekleşir. İncelenecek resim  $f(x,y)$ , yol resmi  $h(x,y)$  ve fark resmi  $g(x,y)$  ile gösterilirse, fark işleminin ifadesi aşağıdaki eşitlik ile özetlenir.

$$g_{RGB}(x, y) = f_{RGB}(x, y) - h_{RGB}(x, y) \quad \begin{matrix} x = 1, 2, \dots, M \\ y = 1, 2, \dots, N \end{matrix} \quad (3-11)$$

Bu ifade de  $x$  ve  $y$  resim üzerindeki piksel koordinatlarını temsil ederken;  $M$  ve  $N$  uzamsal boyutta resmin yatay ve dikey piksel sayısını belirtir. Renkli resimleri oluşturan tüm bileşenler göz önüne alınırsa formül (3-11) aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\begin{aligned} g_R(x, y) &= f_R(x, y) - h_R(x, y), \\ g_G(x, y) &= f_G(x, y) - h_G(x, y), \\ g_B(x, y) &= f_B(x, y) - h_B(x, y), \\ g_{RGB}(x, y) &= g_R(x, y) + g_G(x, y) + g_B(x, y) \end{aligned} \quad \begin{matrix} x = 1, 2, \dots, M \\ y = 1, 2, \dots, N \end{matrix} \quad (3-12, 13, 14, 15)$$

Video görüntüsünden yakalanan bir resmin, yolun boş halindeki resmi ile farkı Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Fark resmi oluşumu: (a)- İncelenen kare, (b)- yolun boş haldeki resmi; referans resmi, (c)- fark resmi, (d)- ikili fark resmi

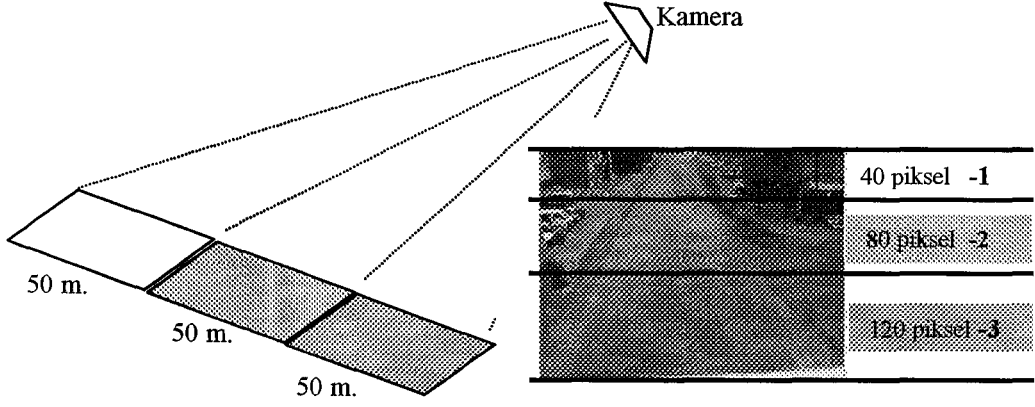
Şekilden de anlaşılacağı gibi fark resmini oluşturan pikseller iki grupta toplanabilir. Birinci grupta çıkarma işleminin sonucunda yer değiştirmeyen yani sabit kalan pikseller, ikinci grupta ise hareket eden pikseller yer alır. Aynı koordinat noktasında aynı piksel değerine sahip; yani hareketsiz hücreler, çıkarma işlemi sonrasında birbirlerini yok eder ve o koordinat noktasının piksel değerini 0 (sıfır)'a eşitler (Şekil 9c'de beyaz bölgeler).

Bu aşamada, fark resminde sıfır değerini alan her bir koordinat değerini beyaz renkle, hareketli grupları temsil eden koordinat değerlerini siyah renk ile temsil eden ikili bir resim oluşturulması analiz için kolaylıklar sağlar. Bu amaçla hazırlanan resim Şekil 3.10d'de gösterilmektedir.

#### 3.4.4 Resim Alt Bölgeleri

Çalışmanın deney aşaması için alınan görüntüler 150 metre uzunluğu olan bir yol ile sınırlıdır. Kamera objektifinin odaklama yapmadan kaydedebildiği bu yol, 240 piksel ile temsil edilmektedir. Fakat kameranın çekim açısı ve yol üzerinde duruş şekli perspektif bir şekil oluşturacaktır. Yani bir cismin yolun farklı bölgelerindeki büyüklüğü farklı olacaktır. Bu yüzden tüm hareket vektör büyüklükleri ve cisim büyüklükleri her bölge için değişik olacaktır. Bu etkiler analizin eşik değerlerini etkileyecektir. Bu etkilenmenin minimize edilmesi için analiz edilen resim alt bölgelere ayrıştırılmıştır. Analiz süresince kullanılan tüm büyüklük eşikleri bu alt bölgelere göre belirlenmiştir.

Analizi yapılan yol üzerindeki araçların hızlarının yaklaşık olarak belirlenebilmesi için kullanılan resimler üç alt bölgeye ayrılmıştır (Bkz. Şekil 3.10). Bu bölgelerdeki araç hızlarının yaklaşık olarak kaç piksele karşılık geldiği Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.10. Resmin alt bölgeleri

Şekil 3.10'daki bölge ayrışımına göre, bölgelerde bulunan araçların ortalama hızları:

Çizelge 3.1. Bölgelere göre hız

Bölge		1 piksel	İncelenen kare/saniye	Hız (metre/saniye)	Hız (kilometre/saat)
1.	<i>İncelenen iki kare arasında 1 piksel hareket ederse</i>	1.250 metre	8.3	10.4100	37.400
2.		0.625 metre	8.3	5.1875	18.675
3.		0.416 metre	8.3	3.4528	12.430

Kameranın duruş açısından dolayı, görüntü üzerindeki 1 piksel gerçekte; üçüncü bölgede 0.416 metreye karşılık gelirken, birinci bölgede 1.25 metreye karşılık gelmektedir. Bu yöntemle, bir saniyelik video serisindeki 25 resimden sadece 8'inin incelenmesi ile, minimum hızda giden ve sadece 1 piksel ilerleyen bir araç analiz edilebilmektedir.

Cisim kameraya yaklaştığında piksel grubunun hareket uzunluğu artacaktır. Bu durum hareket vektörü karışıklığına sebep olabilir. Bir kare önceki koordinata, bir kare sonra farklı bir aracın gelmesi durumunda takip edilen araçlar karıştırılabilir. Bu sakıncalı durumun engellenmesi gerekir. Saniyede, fark için alınan video karesi sayısının azaltılması bu tür karışıklıklara yol açabilir. Bu sebeple bir saniyelik video serisi için yapılan 8 fark işlemi azaltılmamalıdır.

### 3.4.5 Kenar Bulma

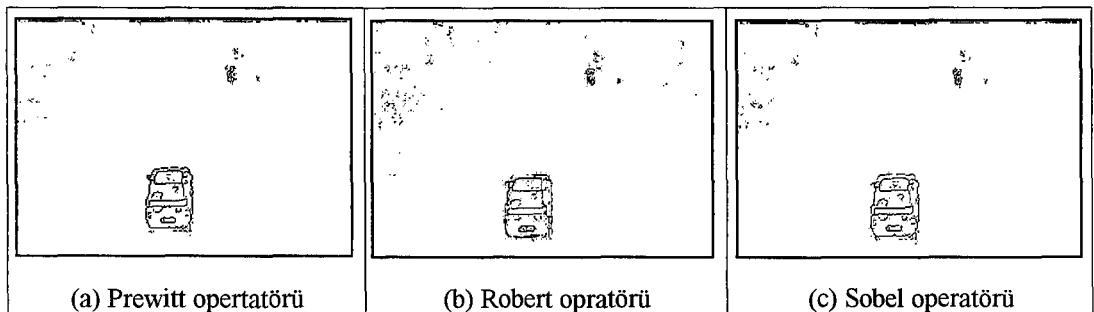
Fark görüntüsünden yararlanılarak piksel gruplarının kenarlarının bulunup çevrelenmesi, incelenen resmin anlaşılır kılınması için gereklidir. Kenar, görüntü üzerindeki nesnelerin sınırlarını belirler. Bu nedenle resimdeki objelerin kesimlenmesi ve tanımlanması için kenarlarının bulunması şarttır.

Kenarların doğru ve hassas olarak belirlenmesi, görüntü üzerinde daha sonra yapılacak işlemlerin başarılı olmasının ön koşuludur. Görüntü analizinde kenarların tespiti için kullanılan yöntemler, gradyan operatörleri ve ikinci türev operatörleri olmak üzere iki sınıfta toplanır.

Çalışmamızda cisim kenarlarının tespiti için gradyan operatörleri kullanılmıştır. Gradyan operatörleri (Roberts, Prewitt ve Sobel) arasında "Sobel" operatörünün ele alınan problemde daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu fark operatörleri, grilik düzeyindeki veya ortalama grilik düzeyindeki değişikliklere cevap verir.

İncelenen görüntüye uygulanan Sobel maske değerlerinin ürettiği sonuçlar deneysel olarak bulunan bir eşik seviyesi ile karşılaştırılmıştır ve bu büyüklüğü aşanlar kenar olarak belirlenmiştir. Gradyan değerlerinin  $(G_x, G_y)$  arasındaki açı ise bulunan kenarın yönünü temsil eder.

Cisim kenarlarının bulunabilmesi için aynı resme uygulanan üç farklı operatörün verdiği sonuçlar Şekil 3.11'de gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Farklı gradyan operatörlerinin ürettiği sonuçlar

Kenar bulma aşamasında, kenarları bulunacak resmin içeriği önemlidir. Fark resminin gürültüsüz elde edilmesi, cisim kenarlarının daha doğru bulunması için gereklidir.

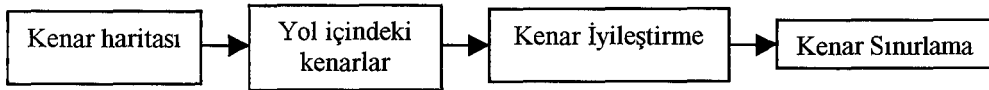
Sobel operatörü kullanarak oluşturulan kenar haritaları, görüntüdeki piksel gruplarını çevreler. Kenar haritasında tek birimlik pikseller, yani arka plan görüntüsünden izole olmuş pikseller, olabilir. Analizde hatalara sebep olmaması için bu piksellerin temizlenmesi gerekir. Kenar haritasına uygulanan  $7 \times 7$ 'lik başka bir maske ile izole pikseller kolaylıkla bulunabilir.

Tek birimlik piksellerin bulunmasında daha büyük boyuttaki bir maskenin kullanım amacı, belirlenen pikselin yakın çevresinde hiçbir kenar bilgisinin bulunmamasına karar vermektir. Yani böyle bir maske için, izole piksele en yakın olabilecek piksel kendi konumundan 4 piksel ilerideki pikseldir. Bu tür pikselleri, fark görüntüsü üzerindeki temizlenemeyen gürültülerin oluşturduğu gözlenmiştir.

Kenar haritası çıkarılmadan önce incelenen resme filtre uygulanması bu tür gürültüleri giderecektir. Fakat resme uygulanacak filtre, zayıflatıcı bir filtre olacağı için resim içerisindeki cisimlerin kenar bilgisini de zayıflatır. Bu durum gerçek objenin belli detaylarını kaybedeceği anlamına gelir. Bu tür sorunlara veya veri kaybına sebep olmamak için incelenen resim üzerinde temizleme amaçlı bir yöntem uygulanmamıştır.

### 3.5 Kesimleme

Kesimleme aşamasında kenar haritalarının anlaşılması için gerekli analizler yapılmıştır. Yol sınırları içerisinde kalan kenarlar morfolojik operatörler yardımıyla güçlendirilerek incelenmiştir. Şekil 3.12'de, analizin bu kısmında incelenecek resmin geçirdiği aşamalar özetlemektedir.



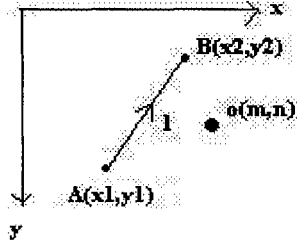
Şekil 3.12. Kesimleme aşamasının akış diyagramı

#### 3.5.1 Yol Sınırları İçerisindeki Kenarlar

Video görüntüsü içerisinde incelenecek ve takip edilecek cisimler hareketlerini yol üzerinde sürdürmektedir. Bu sebeple, tüm resim üzerindeki kenarların incelenmesi gereksizdir. Seçilen yol bölgesindeki kenarlar araç

hareketlerinin takibi için yeterli olmuştur. Böylece analizin işleyiş zamanı da kısalmıştır. Bu amaç için, kenar haritasındaki, birbirleriyle komşuluğu veya bağıllığı bulunmayan kenar grupları markalanmıştır. Bu şekilde kenar haritasında kaç ayrı kenar kümesi olduğu belirlenir. Ayrı ayrı numaralandırılan bu kümelerden hangilerinin yol içerisinde olduğunu tespit etmek gerekir. Bunun için başlangıçta kullanıcı tarafından belirlenen noktaların birleştirilmesiyle oluşan yol resmi esas alınmıştır.

$x$ - $y$  uzayında doğru üzerindeki tüm noktalar doğru denklemini sıfıra eşitlerken, eşitliğin 0'dan büyük veya küçük olma durumu noktanın doğruya göre yeri hakkında bilgi verir. Şekil 3.13'deki  $o(m,n)$  noktası ve  $l$  doğrusu için;



Şekil 3.13. İki boyutlu  $x$ - $y$  uzamsal düzleminde doğru ve nokta

$l(m,n) < 0$ , ise şekle göre, nokta doğrunun solunda,

$l(m,n) > 0$ , ise şekle göre, nokta doğrunun sağında,

$l(m,n) = 0$ , ise şekle göre, nokta doğrunun üstünde yargılarına varılır.

Markalanan her kenar kümesinden alınan herhangi bir  $o(m,n)$  noktasının doğru denklemlerindeki karşılıklarına bakılarak, o kenar kümesinin yolun içinde olup olmadığına karar verilmiştir. Oluşan tüm doğrular için (Bkz. Şekil 3.14);

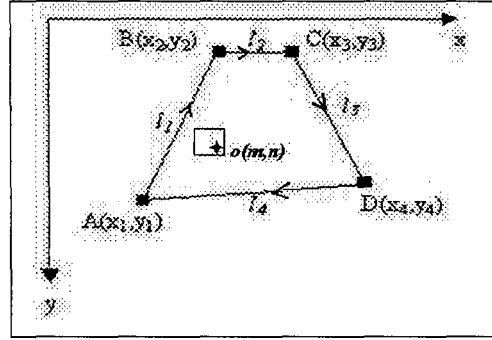
$$l_1(m,n) \rightarrow n - y_1 - \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (m - x_1) > 0 \quad (3-16)$$

$$l_2(m,n) \rightarrow n - y_2 - \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} (m - x_2) > 0 \quad (3-17)$$

$$l_3(m,n) \rightarrow n - y_3 - \frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3} (m - x_3) > 0 \quad (3-18)$$

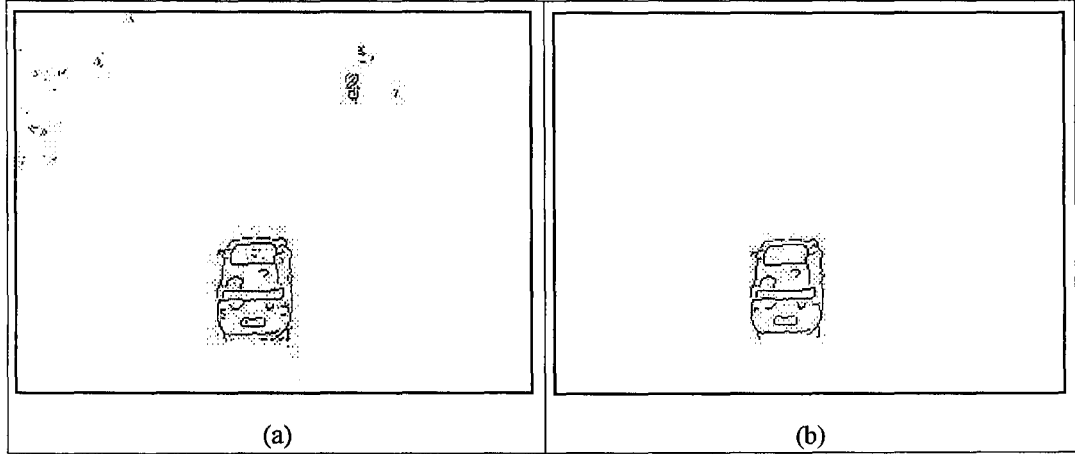
$$l_4(m,n) \rightarrow n - y_4 - \frac{y_1 - y_4}{x_1 - x_4} (m - x_4) < 0 \quad (3-19)$$

(3-16), (3-17), (3-18) ve (3-19) eşitsizliklerini aynı anda sağlayan her  $o(m,n)$  noktası, yol bölgesi içerisindedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Yol bölgesini oluşturan doğrular ve yol içerisinde bir nokta

Yol bölgesi içerisinde kalan tüm kenar haritaları, incelenen resimle aynı ebatta oluşturulan başka bir resim matrisine atanarak incelenmek üzere hazır hale getirmiştir. Şekil 3.15a'da tüm resmin kenarları, Şekil 3.15b'de ise yol sınırları içerisindeki kenarlar gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Kenar haritası: (a)- tüm resmin ve (b)- ilgi bölgesi içinde kalan kenar haritaları

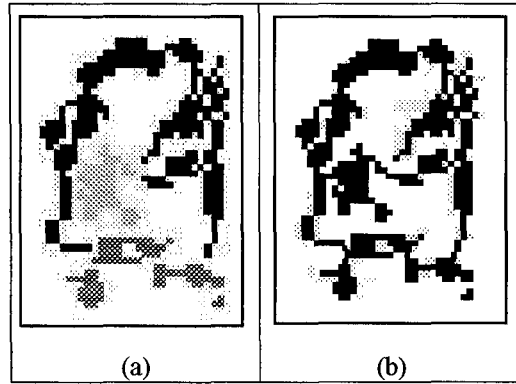
### 3.5.2 Kenar İyileştirme

Kenar haritalarını oluşturan kenar şekillerinin birbirleriyle olan bağlılık ve komşulukları önemlidir. Aynı cisme ait olan kenar çizgileri arasında renk geçişlerinden dolayı kopukluklar veya devamsızlıklar olabilir. Bu olumsuzluklar, yakalanan cismin çevrelenmesinde problemler yaşatacaktır. Mesela, bir cisme ait



olan kenar çizgilerinde devamsızlık varsa çevreleme esnasında iki ayrı cisimmiş gibi algılanır. Genellikle rengi asfalt rengine yakın araçların kenarlarında, renk geçişleri çok ani olmadığı için, nadiren yaşanan bu durum sorunlar yaratmaktadır.

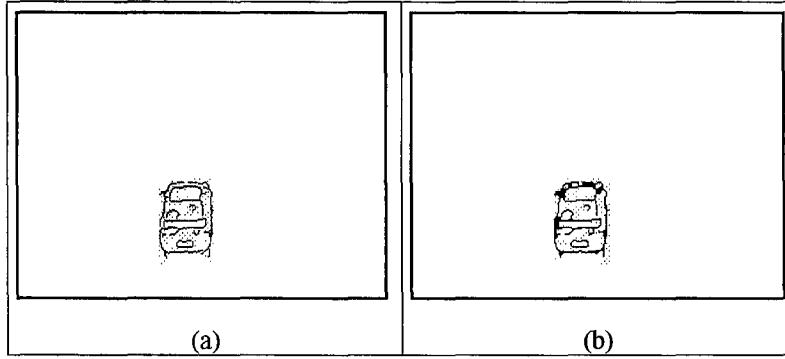
Oluşabilecek bu analiz hataları kenar haritalarına uygulanan morfolojik operatörlerle giderilmiştir. Çalışmanın deney aşamasında, her bir kenar kümesinin komşulukları incelenmiş ve 8'li köşegen (diagonal) veya köprü (bridge) bağlantısı olan kümelerin aynı cisimi temsil ettiği gözlenmiştir. Çünkü, görüntüde hareketli cisimlerin bulunduğu pikseller arasında bir devamlılık vardır. Bu durum göz önünde tutularak komşulukları olan kenar çizgilerinin birleştirilmesi gerektiği kararına varılmıştır. Şekil 3.16a'da kenar resmi üzerinde süreksizlik olan bir cisim gösterilmektedir (birbirinden ayrı kenar çizgileri farklı tonlarda gösterilmiştir). Kenar çizgilerinin komşuluklarına bakılarak, morfolojik köprü ve 8'li bağlantısı araştırılan kenar kümeleri arasında, bu bağıntılara sahip olanlar birleştirilmiş ve Şekil 3.16b ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.16. Kenar haritaları iyileştirilen resimler

Bu metodun resme uygulanmasında dikkat edilmesi gereken bir takım unsurlar vardır. Çekim yapılan kameraya buldukları yer itibarıyla uzak olan cisimler, resmin  $y$  eksenine göre ilk 40-50 piksellik bir bölümünde yer almaktadır. Resmin bu bölgesinde cisimler küçük gözükmemektedir. Arka arkaya gelen iki cisimden kameraya daha yakın olan cisim, diğerinin görünüşünü belli durumlarda engelleyebilmektedir. Bu durumda kenar haritası çıkarılan resimde iki cisme ait kenarlar birbirleriyle çok yakın durumda bulunmaktadır. Uygulanan morfolojik operatörlerin hatalı seçimi, ayrı cisme ait kenarların birleşmesine ve tek cisim olarak algılanmasına sebep olur. Bu yüzden incelenen resim, düşey ekseninde

tepeden başlayarak, 50 piksellik kısım ve kalan 190 piksellik kısım olmak üzere iki parçaya ayrılmıştır. İlk 50 piksellik kısımda sadece 8'li köşegen bağlantısı olan kenarlar birleştirilmiştir. Çünkü, ayrı cisimler arasındaki piksel farkı 1'den fazladır. Diğer 190 piksellik alt görüntüde ise köprü bağlantısı olan yatay ve dikey kenarlar bulunarak birleştirilmektedir. İncelenen resimde bulunan bir örnek cismin kenar haritalarına uygulanan morfolojik operatörlerin öncesi ve sonrası Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.17.** İyileştirilen harita: (a)- morfolojik operatör uygulanmadan önceki kenar haritası, (b)- Morfolojik operatör uygulandıktan sonra kenar haritası

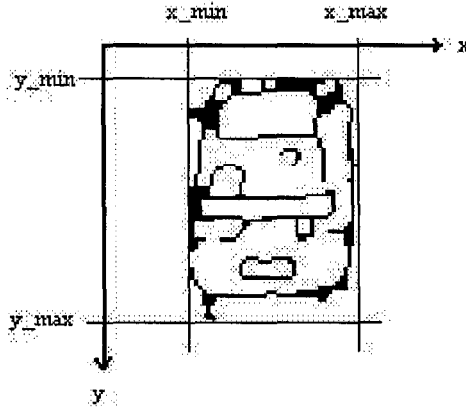
Bahsi geçen morfolojik operatörlerin resim bölgelerine göre ayrıştırılarak uygulanması sayesinde cisim bölünmeleri ve birleşebilecek ayrı cisim kenarları engellenmiştir.

Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer unsur ise kameraya yakın olan aracın hacimce, kameraya uzak olan araçtan büyük olduğu durumlardır. Yaşanan olay üç boyutlu (3D) uzayda gerçekleşirken, kayıt edilen görüntü bu olayı iki boyutlu (2D) uzaya indirgemektedir. Bu esnada kaybolan bir boyut, cismin şekil bilgisinde problemler yaşanmasına sebep olmaktadır. Bu tür problemlerin ayırt edilmesi kimi zaman insan gözü için bile güç olmaktadır. Ancak hareketlerini arkalı önlü ve büyük-küçük araç olarak sürdüren bu cisimler kameraya yaklaştıklarında, belli bir andan itibaren ayrı cisim olarak tespit edilebilmektedir. Yakın takipten kaynaklanan iki aracı tek araç olarak belirleme hatası, geliştirilen kuralla dayalı uzman hareket sistemi ile minimize edilmiştir.

### 3.5.3 Kenar Sınırlama

Uygulanan morfolojik operatörler ile kuvvetlendirilen kenar haritaları hareketli cisimlerin çevresini tam olarak ifade eder. Aynı cisimleri temsil eden her kümenin etrafını saracak en küçük ve dik açılı dörtgen, incelenen resim üzerinde hareketli bölgeleri çevreler. Kenar haritalarını oluşturan noktaların uzamsal boyut eksenleri üzerinde maksimum ve minimum olduğu değerler bu dörtgenlerin oluşumunda referans alınmıştır.

Kenar haritasında birbirinden bağımsız her bir grup için;  $x$  ekseninde minimum ve maksimum olduğu noktalardan geçen ve  $y$  eksenine paralel doğrular temsil ettiği cismin sol ve sağ kenarını sınırlar.  $y$  ekseninde minimum ve maksimum olduğu noktalardan geçen ve  $x$  eksenine paralel doğrular ise temsil ettikleri cismin alt ve üst kenarlarını sınırlar (Şekil 3.18). Bu doğruların kesişimi ile oluşan dörtgen bölge, görüntüdeki cismi çevreleyen, en küçük ve dik açılı dörtgeni oluşturur (Şekil 3.18). Elde edilen kenar haritası üzerindeki birbirinden bağımsız tüm gruplar bu şekilde kutucuklarla çevrilmiştir.



Şekil 3.18. Örnek kutu resmi

Kameraya uzak cisimlerin görüntüde küçük görünmesi ve kameraya yakın cisimlerin büyük görünmesi dikkate alınarak büyüklük eşiği belirlenmiştir. Bu aşamada resim tekrar iki alt bölgeye ayrıştırılarak ( $y$  ekseninde  $0-50$  piksel arası ve  $51-240$  piksel arası) ayrı iki eşik değeri belirlenir. Oluşturulan tüm kutular  $x$  veya  $y$  eksenindeki kalınlık veya uzunlukları için bu eşik değeri ile karşılaştırılır.

Bu değerleri aşan tüm kutuların görüntüde ayrı bir cisimi çevrelediği dşnlmştır. Gürültü kaynaklı kenar çizgilerini ise eşik seviyesini geçemeyen kutular çevrelemektedir. Bu kutu veya kutucukların içinde kalan kenar çizgilerinin, kenar haritasından temizlenmesi ile kenar haritalarında iyileştirme yapılmıştır.

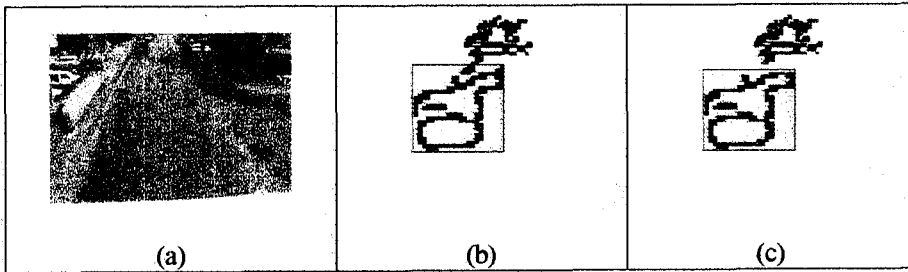
### 3.6 Temsil ve Tanıma

Kenar haritalarından yola çıkılarak çevreleri dik açılı dörtgen kutu ile sarılan bölgelerin bir cisme ait olup olmadığına bu aşamada karar verilmiştir. İncelenen görüntüde hareketli piksellerinin yoğunluk gösterdiği bölgeler, içeriği açısından kontrol edilip karar verilmiştir.

#### 3.6.1 Kenar Ayırma

Kenar haritasındaki çizgilerin piksel uzunluğu, resim alt bölgelerine göre uzunluk eşiğinden fazlaysa; ele alınan kenar çizgisinin bir cisme ait olduğu dşnlmştır. Bu kenar çizgileri, görüntü içerisinde hareketli grupları hareketsiz piksellerden ayıran hattın ifadesidir.

Kenar çizgilerinin maksimum ve minimum değerleri bulunarak hesaplanan, kendilerini çevreleyen, en küçük kutunun içeriği, hareketli nesnenin görüntüdeki yeri ve alanını hakkında bilgi verir. Bu şekilde kenar çevreleme, birbirini yakın takip eden veya yakın sollama yapan farklı cisimler için keşişimlere sebep olabilir. Bu durumun rneği şekil 3.19’da verilmiştir.



şekil 3.19. Kenar ayırma: (a)- İncelenen resim (yakın takip), (b)- İki kenar haritasının evrelendikten sonra keşişimi, (c)- Kenar ayırma yöntemi ile ayrılan cisim kenar haritaları

Şekil 3.19a'da görüldüğü gibi görüntüde ayrı iki cisim vardır. Fakat kırmızı cismin kenar çizgisinin  $y$  eksenindeki minimum değerleri, arkasındaki beyaz cisim kenar çizgisinin maksimumu ile kesişmiştir. Kendilerini çevreleyen kutular, şekildeki değerler için oluşturulursa, bu iki cismin kutuları kesişecektir. Bu çerçeve çakışması ise iki ayrı cismin tek bir cisimmiş gibi etiketlenmesine sebep olacaktır. Analiz sırasında elde edilen kenar haritalarında ve bunların çerçevelenmesi aşamasında bu tür durumların olup olmadığı araştırılmıştır. Bu nedenle, her kenar çizgisinin  $x$  ve  $y$  eksenindeki maksimum-minimum noktaları, görüntü üzerinde bulunan diğer kenar çizgilerinin maksimum-minimum noktaları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, belirlenen eşik seviyesine göre,  $x$ - $y$  uzamsal boyutunun her iki eksenini için de yapılmalıdır. Çünkü sadece birbirini yakın takip eden araçlar için değil, birbirini yakın sollayan araçlarda da bu duruma rastlanabilir ( $x$  ekseninde kesişim). Sunulan bu çalışmada arkalı önlü yakın hareket için  $y$  eksenindeki, yakın sollama için de  $x$  eksenindeki her türlü kesişme kontrol edilmiştir. Eğer bu şekilde iki uzun kenar çizgisi, bir  $(x,y)$  noktası için kesişiyorsa bu kenar çizgilerinin ayrılması, iki ayrı aracı temsil ettiklerinden dolayı gereklidir. Araçlardan birinin kesişme olan ekseninde maksimum veya minimum noktasının, diğer cismin aynı eksenindeki minimum veya maksimum noktasının aldığı değere göre değiştirilmesiyle bu işlem gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle, incelenen kenar çizgilerin (Bkz. Şekil 3.19b) ayrışımı Şekil 3.19c'de verilmiştir.

İncelenen görüntüde kaç tane araç olduğu ve bu araçların konum bilgileri, bu aşamada oluşturulan kutuların ayrı ayrı etiketlenmesi ile bulunur. Her kutu için ayrı ayrı hesaplanan köşe koordinat bilgileri, cisim hareketinin analizi ve takibi için, bir matriste tutulmuştur. Kutuların ortasına karşılık gelen noktanın koordinatı ve her kutunun çevrelediği bölgenin alanı bu analiz için yardımcı unsurlar olmuşlardır. Bu sebeple bu veriler de ayrı matrislerde saklanmaktadır. Bir sonraki görüntüde bulunan cisimlerin bir önceki resme göre ne kadar hareket ettikleri ve alanlarında ne kadar değişiklik olduğu bu bilgilerden yararlanılarak hesaplanmıştır.

Resim üzerinde bulunan hareketli bölgeleri çevreleyen dörtgenlerin koordinat bilgileri sadece hareket analizi için kullanılmamıştır. Bu bilgiler yol resminin yenilenip video süresince güncellenmesinde de önemli rol oynamaktadır.

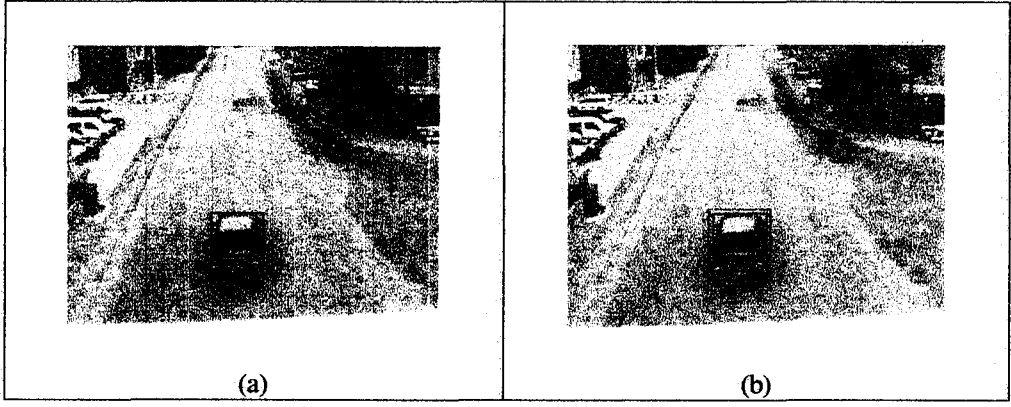
### 3.6.2 Yol Resmi Güncelleme

Analiz sırasında kullanılan referans kare (yolun boş haldeki resmi) sabit kalmaktadır. Fakat incelenen kare zaman ilerledikçe referans kareye göre farklılıklar gösterecektir. Zaman ilerledikçe resim dizileri arasında ışık şiddeti ve hava durumundan kaynaklanan, parlaklık farklılıkları olacaktır. Eğer fark resminin hesaplanmasında kullanılan referans kare değişmeden sabit kalırsa sakıncalı durumlar ortaya çıkacaktır. Arka plan görüntüsü yenilenmediği için, fark resminde kalan pikseller, hareketli bölgelerin yanı sıra ışık şiddetinden kaynaklanan renk farklılıklarının olduğu bölgeleri de içerecektir. Bu durumda, elde edilen resimde hareketli cisimlerin haricinde parlaklığı değişen bölgeler de hareketli cisimmiş gibi davranacaktır.

Bu sebeple oluşabilecek sakıncalı durumlar, referans kare olarak bilinen, yolun boş halinin resminin güncellenmesi ile giderilmiştir. İncelenen video resmindeki hareketli bölgelerin dışında kalan piksellerin, kullanılan yol resminin aynı koordinatındaki piksellerine yamanması yöntemiyle yol resmi güncellenmiştir. Hareketli cisimlerin bulunduğu bölgelerde ise bir değişiklik yapılmamıştır.

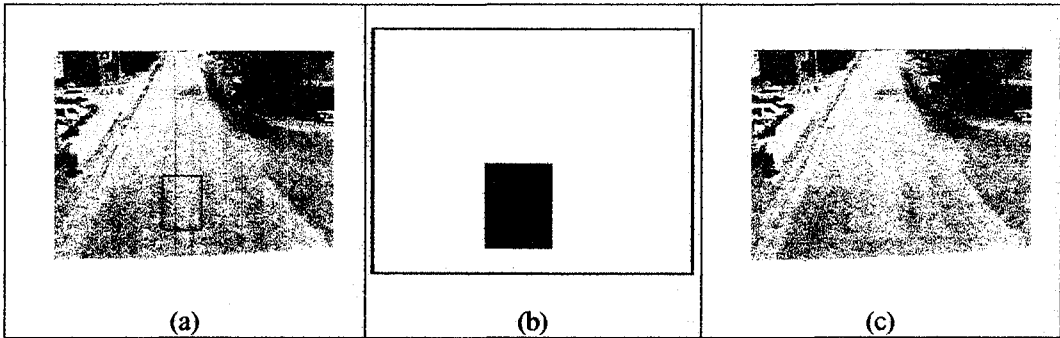
Yol resminin güncellenmesi için, toleranslı kutular oluşturulmuştur. Hareketli bölgeleri gösteren kutuların koordinat bilgilerinden yola çıkılarak, bu değerlerin  $\pm 10$  piksel uzağındaki noktaların çevrelediği kutular, toleranslı kutuları oluşturur. Yol resmi güncellenirken, toleranslı kutuların haricinde kalan tüm resmin piksel değerleri, buldukları koordinatlara göre, kullanılan yol resminde aynı koordinata karşılık gelen piksel değerlerine atanmıştır. Böylece incelenen resim karesi ile kullanılan referans resim arasında güncellik sağlanmıştır.

Toleranslı kutu ve hareketli bölgeyi çevreleyen kutu Şekil 3.20'de gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Toleranslı bölge: (a)- cisim bölgesi, (b)- toleranslı bölge (dıştaki ince çizgi)

Şekil 3.21a'da sürekli çizgilerle çevrelenen bölge hareketli pikselleri göstermektedir. Şekil 3.21b'deki tüm beyaz bölge referans kareye yamanmıştır. Oluşturulan, yenilenmiş yol resmi ise Şekil 3.21c'de gösterilmektedir.



Şekil 3.21. Yenilenen yol: (a)- cismi çevreleyen kutu, (b)- toleranslı kutu, (c)- güncellenen yol resmi

Yama işlemi sonucunda yenilenen kısım ile yenilenmeyen kısım arasındaki renk geçişleri fark resminde cisme ait olmayan kenar çizgileri üretebilir. Bu kenar çizgilerinin, bir sonraki karede bulunacak cismin kenar çizgilerinden uzak tutulması, o karedeki cismin kenarlarının hatasız bulunabilmesi için gereklidir.

İncelenen karede belirlenen hareketli bir kutunun, bir sonra incelenecek karede bulunabileceği yer en fazla 10 piksel ilerisi ya da gerisidir. İncelenen iki kare arasında 1 piksel ilerleyen bir aracın 10 piksel hareket edebilmesi için; birinci bölgede 374 km/saat hızla gitmesi, ikinci bölgede 186.75 km/saat, üçüncü bölgede ise 124 km/saat hızla gitmesi gerekir ki, bir cisim için bu süratler bir çok yolda zor

ulařılabilecek bir sűratlerdir. Yani, hareketli kutunun bir sonraki resimde hareket edebileceęi tűm bűlgeler,  $\pm 10$  piksel tolerans ile, toleranslı kutunun içinde yer almıřtır. Bűylece, yenileme iřlemi sırasında kullanılan yol resminin toleranslı bűlgeleri içine yeni piksel deęeri atanmamıřtır. Bu da, bulunan cismin yakınlarındaki koordinatlarda piksel deęiřiklięinin yapılmadıęı anlamına gelir. Yol resminde deęiřen piksellerle deęiřmeyen pikseller arasındaki geçiřler bu yűntemle hareketli cismin bulunabileceęi bűlgeden uzakta tutulmuřtur.

Elde edilen bu yeni yol resmi bir sonraki video karesi ile farkı alınmadan űnce ortanca filtre ile temizlenmiřtir. Toleranslı kutu geçiřinde olabilecek ani renk deęiřiklikleri de bűylece yumuřatılmıřtır. Bu yűntemle űretilen gűncel yol resmi kenar haritası tespitinde hatalı sonuçlar űretmemiřtir.

### **3.7 Karar**

İncelenen gűrűntűlerde bulunan kutu veya kutucuklar, videoyu oluřturan resim dizisi sűresince çeřitli doęrultularda ve bazen de űekillerini az da olsa deęiřtirerek hareket etmektedir. Gűrűntű űzerinde bulunan cisimleri temsil eden bu kutucukların hareketlerinin yorumlanması ve takip edilmesi karar ařamasında yapılmıřtır. Çalıřmamızda, bahsedilen kutuların hareketlerinin incelenebilmesi için hareket kurallarına dayalı bir uzman sistem geliřtirilmiřtir.

#### **3.7.1 Koordinat Matrisi Dűzenleme**

Analiz sűresince incelenen her resim karesinde, bulunan tűm cisimleri çevreleyen dűrtgenlerin kűře koordinat bilgileri bir matriste saklanmıřtır. Bu matrisin oluřturulmasında dikkat edilen hususlar;

- Aynı cisme ait olan tűm koordinat bilgileri o cisim için ayrılmıř sűtuna yazılmıřtır. Gűrűntű űzerinde birden fazla araç bulunması durumunda hangi koordinat bilgisinin hangi araca ait olduęu kararı hatasız verilmelidir. Bir cismin hareketi aynı sűtunun ilerleyen satırlarında izlenmektedir.



- Bu matrister satır sayısı, incelenen görüntü karesine eşitken; sütun sayısı, o resimde bulunan araç sayısını göstermektedir. Cisim takip edilirken incelenen görüntüdeki sütun sayısı cisim sayısına eşit olacaktır. Fakat, bu cisim veya cisimler yol içerisindeki hareketlerini tamamlamadan bir başka cismin görüntüye girmesi matrisin sütun sayının değişmesini (artmasını) gerektirir. Bu sebeple sütun sayısı değiştirilebilir matrisler oluşturulmuştur.
- Görüntü içerisindeki hareketini alarmsız bir şekilde tamamlayan bir cismin kenar köşe bilgileri silinebilir. Ancak bu bilgilerin bir günlük içinde korunması, yaşanan olayın tekrar gözlenmesinde kolaylıklar gösterir.
- Alarm üreten her hareketin koordinat bilgileri, tekrar gözleme için korunmuştur.
- Belli bir süreden sonra analiz edilen görüntü karesinin sayısı arttıkça bilgi matrislerinin satır sayısı çok artacaktır. Analiz sırasında bu tür büyümelerin engellenmesi için, satır sayısı belli bir değeri geçtiğinde, matrisin ilk satırından başlayarak aynı günde tutulması gerekmektedir. Yani matrisin sabit satır sayılı bir kayan pencere gibi çalışması ve pencere dışında kalan tüm incelenmiş satırların günde tutulması sağlanmıştır.
- Cisimleri temsil eden kutuların orta nokta ve alan değerlerinin tutulduğu matris ise, cisim karışıklığı olmaması için, köşe koordinatlarının tutulduğu matrisle simetrik çalışmalıdır. Yani, köşe koordinat matrisinin 5. satır 4. sütununda bulunan koordinat bilgilerinin sağladığı alan ve orta nokta değerleri, ilgili matrislerin yine 5. satır ve 4. sütununda yer almalıdır.
- Dizilim sırasında bir matrister yapılan her değişiklik, diğer iki matrister de simetrik bir şekilde uygulanmıştır.

Bu kurallara göre oluşturulmuş koordinat, orta nokta ve alan matrislerinin bir örneği Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Örnek veri matrisleri

İncelenen Kare	Orta noktalar		Koordinatlar								Alan	
	<i>Cisim1</i>	<i>Cisim2</i>	<i>Cisim1</i>				<i>Cisim2</i>				<i>Cis1</i>	<i>Cis2</i>
1	88 193	129 12	59 116 159 226	118 139 2 22	3819	420						
2	83 201	127 14	52 114 176 226	116 138 3 24	3100	462						
3	84 211	127 14	52 115 196 226	116 137 2 26	1890	504						
4	0 0	125 17	0 0 0 0	110 140 2 32	0	900						
5	0 0	128 16	0 0 0 0	114 142 2 30	0	784						

### 3.7.2 İlk Düzenleme

Bir cismin izlenen karelerdeki tüm koordinat bilgilerinin aynı sütunda tutulması hareketin takibi için büyük önem taşımaktadır. Bu matrislerin düzenli olarak dizilimi için iki yol vardır. Bunlar, alan kesişimi ve hareket vektörü devamlılığıdır.

Alan kesişimi yönteminde, incelenen resimdeki hareketli pikselleri çevreleyen kutu ile bir önceki resimde bulunan tüm kutular karşılaştırılır. Birbiriyle bir veya daha çok noktada üst üste binen kutuların verileri aynı sütuna altlı üstlü yazılır. Böylece aynı cisme ait tüm verilerin aynı kolonda yer alması sağlanır. Fakat bu yöntemin bir takım dezavantajları vardır. Eğer incelenen karelerden biri kenar zayıflığı nedeniyle bölünüp iki kutu ile temsil edilirse, alan kesişimi yöntemi tutarsız sonuçlar verir. Hareket yönleri kameraya doğru ve birbirini yakın takip eden iki araçtan kameraya yakın olan araç, bir sonraki karede kameraya biraz daha yaklaşacaktır. Fakat arkadaki aracın bir sonraki karedeki çerçevesi, bir önce incelenen karedeki iki cisim çerçevesi ile de üst üste binebilir. Bu da bu yöntem ile takip edilen araçların karıştırılmasına sebep olur. Çalışmanın deney aşamasında uygulanan bu yöntemin tutarsız sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Hareket vektörü devamlılığı yönteminde ise ard arda incelenen iki kare arasında hesaplanan hareket vektörleri için başlangıç-bitiş noktalarının devamlılığına bakılmaktadır. Vektörlerin başlangıç ve bitiş noktalarının temsili ise, video karesi üzerindeki hareketli cisimleri çevreleyen dörtgenlerin orta noktaları ile yapılmıştır. Vektör devamlılığı yönteminde en önemli problem, başlangıç vektörlerinin doğruluğu ve mantıklılığıdır.

İlk satır düzenleme yöntemi ile başlangıç vektörleri mantıksal bir yaklaşımla çıkarılmıştır. Bu yöntemde, 3 adet görüntü karesinin işlenmiş ve orta nokta değerleri hesaplanmış olması gerekir. Orta nokta matrisinin ikinci satırındaki (incelenen ikinci karede bulunan hareketli cisimlerin verileri bu satırda bulunmaktadır) koordinat bilgilerinden yararlanılarak bu düzenleme yapılmıştır. Bu yöntemde izlenen yol aşağıda sıralanmıştır:

- Hareket vektörlerinin uzamsal boyutta;  $x$  ve  $y$  yönünde alabilecekleri maksimum büyüklük değerleri, resmin iki ayrı bölgesi için belirlenir.  $y$  yönünde ilk 50 piksel ve sonrasındaki 190 piksellik kısımda araç boyutları çok fazla farklılık gösterir. Çünkü kameraya yaklaşan cismin şekli büyümekte; bu ise vektör büyüklüğünü, bir önceki değerinden daha fazla büyütmektedir. Resim bölgelerine göre en fazla büyüme ise kullanılan eşik değerlerini belirlemiştir.
- İkinci satırda hareket verisi bulunan her cisim için, birinci satırda bulunan hareket verileri arasından, hareket eşliğini geçmeyen, kendisine en yakın olan değer bulunmuştur. Aynı işlem 2. satır ile 3. satır arasında da yapılmıştır. İkinci satırda ele alınan cisim verisi ile 1. ve 3. satırda bulunan bu veriye en yakın değer aynı sütuna yazılmıştır.
- Aynı işlem 2. satırdaki tüm cisim verileri için yapılır. Eğer en yakın değer yoksa, o veri için yakın değer olmayan satırda bir dizilim yapılmaz.
- Kolon numarası değişen her cisim verisinin, orta nokta ve alan bilgileri de bu değişikliğe paralel olarak değiştirilir. Böylece matristeki her bir sütunun ayrı cisimlerin verilerini temsil etmesi sağlanmıştır.

Örnek uygulaması aşağıdaki Çizelge 3.3 ile gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3.** İlk düzenleme sonucu oluşturulan orta nokta matrisi için tablo

Düzenlenmemiş orta nokta						Düzenlenmiş orta nokta					
Cisim1		Cisim2		Cisim3		Cisim1		Cisim2		Cisim3	
$X_1$	$Y_1$	$X_2$	$Y_2$	$X_3$	$Y_3$	$X_1$	$Y_1$	$X_2$	$Y_2$	$X_3$	$Y_3$
40	91	76	21	0	0	76	21	40	91	0	0
77	23	37	100	128	12	77	23	37	100	128	12
35	105	127	14	78	25	78	25	35	105	127	14

Analiz süresince ilk satır düzenleme yöntemi sadece ilk üç satır için, bir defaya mahsus olmak üzere yapılmıştır. Sütunlarda bulunan her değer için hareket vektörlerinin büyüklüğü aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$D_{\overline{AB}} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (3-20)$$

Başlangıç noktası olarak alınan  $A(x_1, y_1)$  noktası incelenen kareden bir önceki karenin verisidir. Bitiş noktası  $B(x_2, y_2)$  ise incelenen karedeki veri olmuştur.

$$\text{başlangıç noktası: } A(x_1, y_1) = A(76, 21);$$

$$\text{bitiş noktası: } B(x_2, y_2) = B(77, 23);$$

$$D_{\overline{AB}} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} = \sqrt{5} = 2.236 \quad (3-21)$$

### 3.7.3 Satır Düzenleme

Analizde ilk üç video karesinin incelenmesinden sonra, incelen her kareden elde edilen hareketli cisim verileri, hareket tahmini yapıldıktan sonra kendilerine ait sütunlara yerleştirilmiştir.

Hareket tahmini için ilgilenilen sütundaki hareket verilerinin standart sapmasından yararlanır. Standart sapma, bir sütundaki değerlerin, sütun ortalamasına göre nasıl bir dağılım gösterdiğini belirten bir ölçüdür. Bir cisme ait son üç karedeki köşe koordinat verilerinin standart sapmasından yararlanılarak bir sonraki karede cismin nerede olabileceği hakkında yaklaşımda bulunulmuştur. Bu yöntem ile belirlenen tahmin dörtgeninin orta noktasına, incelenen karedeki en yakın orta nokta bulunmuş, hareket tahmini yapılan sütunun ilgili satırına yazılmıştır. Hareket vektörlerindeki anlamsızlıktan veya doğabilecek problemlerden dolayı tahmini yapılmayan sütunlarda ise incelenen değere en yakın nokta, eğer mantıklı bir hareket tanımlıyorsa, incelenen sütuna taşınmıştır. Eğer bakılan satırda bir hareket vektörü büyüklüğünü sağlayan değer yoksa, sütunda veri kaybına uğramamak için, hiçbir değişiklik yapılmamıştır. Bu tür problemler, kurala dayalı hareket analizi yöntemi ile çözülmüştür.

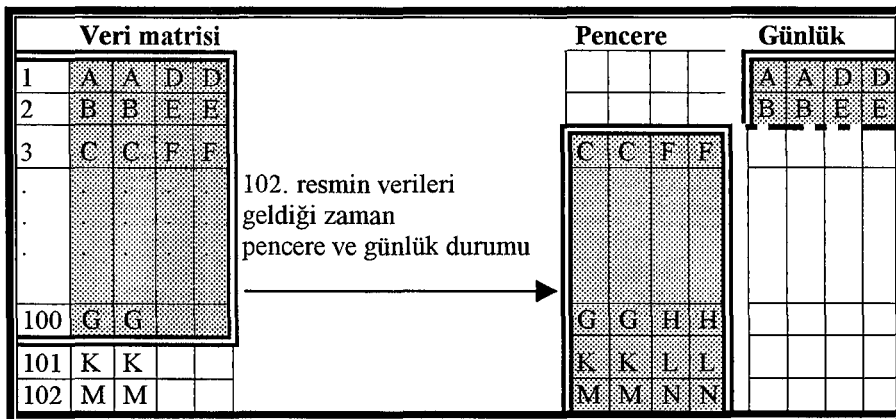
Analiz süresince elde edilen tüm bilgilerin tutulduğu bu matrisler zaman ilerledikçe satır boyuna, bulunan cisim sayısı arttıkça da sütun boyuna büyüyecektir. Bu sakıncalı durum satır sayısı için kayan pencere yöntemi ile önlenmiş, sütun sayısı için boşluk doldurma yöntemiyle engellenmiştir.

### 3.7.3.1 Kayan Pencere

Bir saniyelik görüntü için yaklaşık 8 resim karesi incelenmektedir. Bu da 8 satırlık bir matrisi oluşturmaktadır. 10<sup>1</sup>uncu saniyede bu matris 83 satıra, 15<sup>1</sup>inci saniyede ise 125 satıra ulaşacaktır. Zaman ilerledikçe satır boyuna sürekli büyüyen bu matrislerin üzerinde inceleme yapmak güçleşir. Matris satır sayısının bir değerinde sabit tutulması bu tip engelleri ortadan kaldırmıştır.

Çalışmamızda depolanan verileri tutan matrislerin maksimum satır sayıları 100 satırla (12 saniyelik görüntü hafızası içerir) sınırlandırılmıştır. Bu süreyi aşan her görüntü parçasından gelen ilk veri için bu 100 satırlık matris bir satır aşağıya kaydırılmış, kaybedilen ilk satır bir günlüğe tutulmuştur. İncelenen kare sayısı arttıkça matris aşağı yönlü hareketini sürdürür ve kaybedilen her satır ilgili günlük içerisinde sütun numaralarına göre satır satır yazılır. Bu yöntemin uygulanış şekli Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Kayan pencere örneği.



Böylece incelenen her resmin verileri gerek kayan pencere içerisinde, gerekse günlük dosyası içerisinde saklanmıştır.

### 3.7.3.2 Boşluk Doldurma

İncelenen cisim sayısının artması veri matrislerinin kolon sayılarının artacağı anlamına gelmektedir. Görüntü üzerinde hareketini tamamlayan bir cismin sütun değerlerine ilerleyen satırlarda sıfır (0) değeri konulmaktadır. İlerleyen satırlarda yeni sütun yaratılmaması için; matris içerisinde hareketini tamamlayan cisimlerin bulunduğu sütunlar bulunup, bulunan yeni cismin verileri bu boş (0 değerli) sütunlara ilgili satırda yazılmıştır. Bu yöntemle yeni sütun açma durumu (hareketini tamamlayan cisim yokken takip edilecek cisim sayısının artması durumu) oluşmadıkça ek sütun yaratılmamaktadır. Örnek durum Çizelge 3.5’de özetlenmektedir.

Çizelge 3.5. Boşluk doldurma örneği

	Cis1	Cis2	Cis3	Cis4		Cis1	Cis2	Cis3	
1	135	6	45	202	103	102	0	0	
2	136	7	43	213	100	110	0	0	
3	134	12	0	0	98	119	0	0	
4	132	14	0	0	96	129	0	0	
5	132	15	0	0	93	139	139	5	
6	131	17	136	6	90	150	0	0	

Boşluk  
doldurma

	Cis1	Cis2	Cis3			
1	135	6	45	202	103	102
2	136	7	43	213	100	110
3	134	12	0	0	98	119
4	132	14	0	0	96	129
5	132	15	139	5	93	139
6	131	17	136	6	90	150

Örnek veri matrisinin (Çizelge 3.5) 2’inci satırında, takip edilen 2’inci cismin hareketini tamamladığı görülmektedir. 5’inci satırda tespit edilen yeni cismin verileri için yeni bir sütun açılmıştır. Bu durum anlaşıldığı anda, bulunan yeni cismin 5’inci satırdaki verisi, önceden hareketini tamamlamış olan bir başka cismin (2’inci sütun) sütununa yazılarak yeni sütun oluşumu engellenmiştir.

### 3.7.3.3 Hareket Tahmini

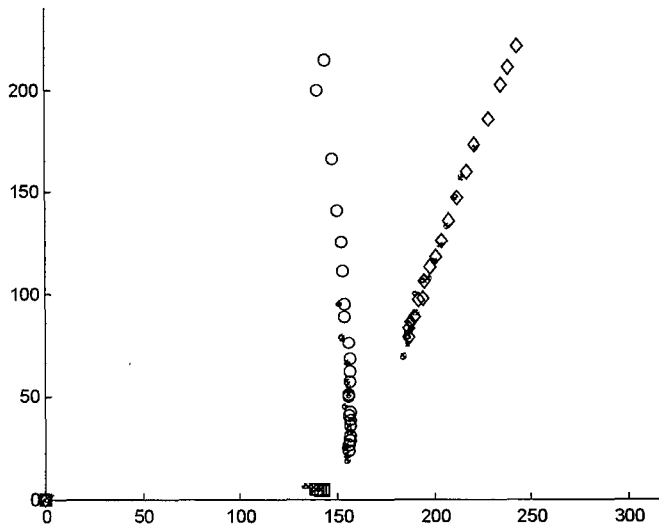
Koordinat bilgilerinin tutulduğu matriste her cisim için 4 ayrı sütun vardır. Bu sütunlar tespit edilen cismi çevreleyen dörtgenin sırasıyla; minimum  $x$ , maksimum  $x$ , minimum  $y$  ve maksimum  $y$  değerlerini içerir. Aynı kolonda, ard

arda gelen anlamlı her 3 satır için standart sapma değeri hesaplanmıştır. Bulunan bu değer, sütundaki değerler artıyorsa son satırdaki değere eklenerek; azalıyorsa son satırdaki değerden çıkarılarak beklenen değere ulaşılmıştır. Çizelge 3.6'nın 4'üncü satırında da görüldüğü gibi, hareket vektörü anlamlı ilk 3 satırın standart sapmasından yola çıkılarak hesaplanan beklenen değer ile analiz değeri birbirine çok yakındır. Önerilen bu yöntemin deneysel verilerde oldukça başarılı olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 3.6. Köşe koordinatları ve beklenen koordinat değerleri

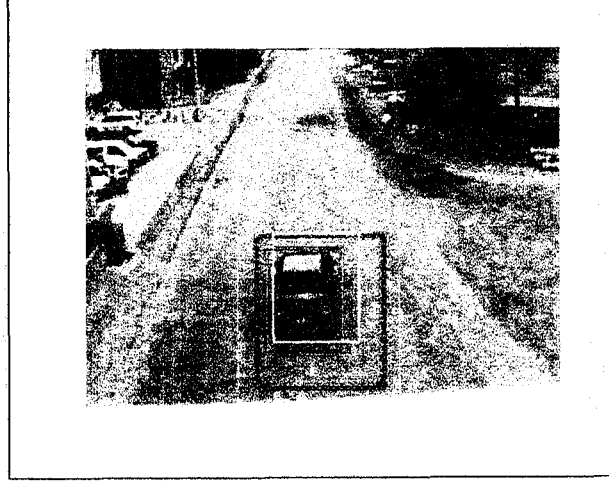
	Köşe koordinatları				Beklenen koordinat değerleri				Bulunan orta nokta		Beklenen orta nokta	
	$X_{min}$	$X_{max}$	$Y_{min}$	$Y_{max}$	$X_{min}$	$X_{max}$	$Y_{min}$	$Y_{max}$	X	Y	X	Y
1	69	118	129	192	0	0	0	0	94	161	0	0
2	64	117	143	200	0	0	0	0	91	172	0	0
3	59	116	159	205	0	0	0	0	88	182	0	0
4	52	114	176	215	54	115	174	211	83	196	85	193

Analiz neticesinde cisimlerin buldukları  $x$ - $y$  koordinat bilgileri ve bu yöntem ile tahmin edilen notaların gösterimi, örnek bir video dosyası için, Şekil 3.22'de verilmiştir. Şekilde "o" ve "◇" ile gösterilen noktalar cisimlerin analiz sonrasında buldukları yerin koordinatlarını göstermektedir. "." ile gösterilen noktalar ise cisimlerin hareket tahmini sonucunda elde edilen verilerini temsil etmektedir.



Şekil 3.22. Hareket tahmini

Analiz sırasında incelenen bir resmin koordinat verileri (Şekil 3.23’de kırmızı çizgi ile çizilmiş dikdörtgen) ile hesaplanan tahmini hareket dörtgeni (Şekil 3.23’de mavi kesikli çizgi ile çizilmiş dikdörtgen) ve bir sonraki resimde cismin analiz sonucunda bulunduğu yer (Şekil 3.23’de sarı çizgi ile çizilmiş dikdörtgen) Şekil 3.23’de gösterilmektedir.



Şekil 3.23. Tahmin dörtgeni

#### 3.7.4 Kurala Dayalı Hareket Yorumlama

Gözlemlenen yoldaki araçların birbirlerini yakın takip etmesi durumunda kameranın duruş açısı da eklenirse, analiz sırasında iki ayrı aracın tek araç olarak yorumlanması kaçınılmazdır. Fakat bu araçlar kameraya yaklaştıkça aralarındaki mesafenin yakın takip alarmını yok ettiği durumlar olabilir. Yani, hareketlerini yolun bir kısmına kadar tek araçmış gibi sürdüren, fakat o kısımdan sonra ayrılan araçlar olabilir. Bu tür durumlarda takip edilen kare iki parçaya bölünecektir. Bu parçalar, daha sonraki video karelerinde hareketlerini düzenli olarak sürdürürse yolda o andan sonra iki araç olduğuna karar verilebilir. Ya da kenar zayıflaması yüzünden, yolun bir kısmına kadar tek araç gibi gelip, sonra bölünen ve tekrar birleşerek hareketini devam ettiren karelerin kopuk parçaları bulunabilir. Bahsedilen bu kararlara varabilmek için olayın gerçekleştiği andan sonra gelen 5 karenin verileri incelenmiştir. İncelenen bu 5 kareden gelen veriler, hareketin öncesi ile karşılaştırılarak hareketin yorumu yapılmıştır.



Cisim hareketlerinin video serisi süresince yorumlanabilmesi için geliştirilen bu uzman sistem, düzenli taşıt hareketlerinin yoldaki verilerinden elde edilen bilgiler ışığında hazırlanmıştır. Bu bilgilerden bazılarını sıralayacak olursak;

- Eğer bölünen cisim varsa ve bu bölünen parçalar ilerleyen video karelerinde hareketlerini anlamlı bir şekilde sürdürüyorsa “burada hareketini sürdüren iki ayrı cisim vardır” kararı verilmiştir.
- Eğer bölünen cismin parçaları daha sonraki karelerde hareketlerini birleşik sürdürüyorsa, buradaki bölünme kenar zayıflığı nedeniyledir.
- Önlü arkalı hareket eden iki kutu, ilerleyen karelerde birden duruyor ve bu araçlardan herhangi birisinin alanı, alanların toplamı kadar büyüyorsa burada alarm vardır ve bu iki araç çarpışmıştır.
- Kameraya yaklaşan büyük araçların (otobüs, kamyon, ...v.s) arkasından gelen küçük araçların görülmesi zordur. Bu tür durumlarda yapılabilecek tek şey büyük aracın hareketini izlemektir. Aynı durum kameradan uzaklaşan küçük bir cismin arkasından görüntüye hacmi öndekinden daha büyük başka bir aracın girmesi senaryosunda da oluşur. Bu tip durumlarda geliştirilen bu sistem alarm üretmez. Bu problemlerin ortadan kaldırılması için, kameranın yolu dik kesen çekim açısı ile daha yüksek bir yerden, kayıt yapılması gerekir.
- Hareketini kameraya doğru sürdüren, fakat yolun sağ tarafında yakalanan cisim ya araç solluyordur ya da şerit ihlali yapıyordur. Eğer yolun solunda, yakalanan araca yakın başka bir araç yoksa bu bir şerit ihlalidir. Bu durum için alarm üretilmiştir. Aynı durumun farklı uyarlaması yolun sol şeridinde hareket eden araç için de geçerlidir.
- İzlenen araç duruyorsa ve kutu alanı büyümüyorsa alarm üretilmez.
- Tali yol girişi bulunan yollarda yolun sağından veya solundan yola giren veya yoldan çıkan araçlar olabilir. Bu bir alarm üretmez.
- İncelenen iki resim arasında hareket vektörünün büyüklüğü bir araç için yolun farklı kesimlerinde belirlenen eşik seviyesini geçiyorsa aşırı sürat alarmı üretir.

Sayılan bu senaryolara ilaveten yaklaşık 20 civarında durum için geliştirilen bu sistem, karar vermek için en az 5 ardışık resmin incelenmiş verisine ihtiyaç duyar. Yani  $t$  anında gerçekleşen bir olaya ancak  $t+5$  anında karar verebilir. Analiz sırasında, videoları oluşturan her üç resimden birinin incelendiği göz önüne alınırsa, sistemin karar süresi;

$$\left(\frac{1\text{saniye}}{25\text{resim}} \times 3 \times 5\text{resim}\right) = 0.6 \text{ saniye} \quad (3-22)$$

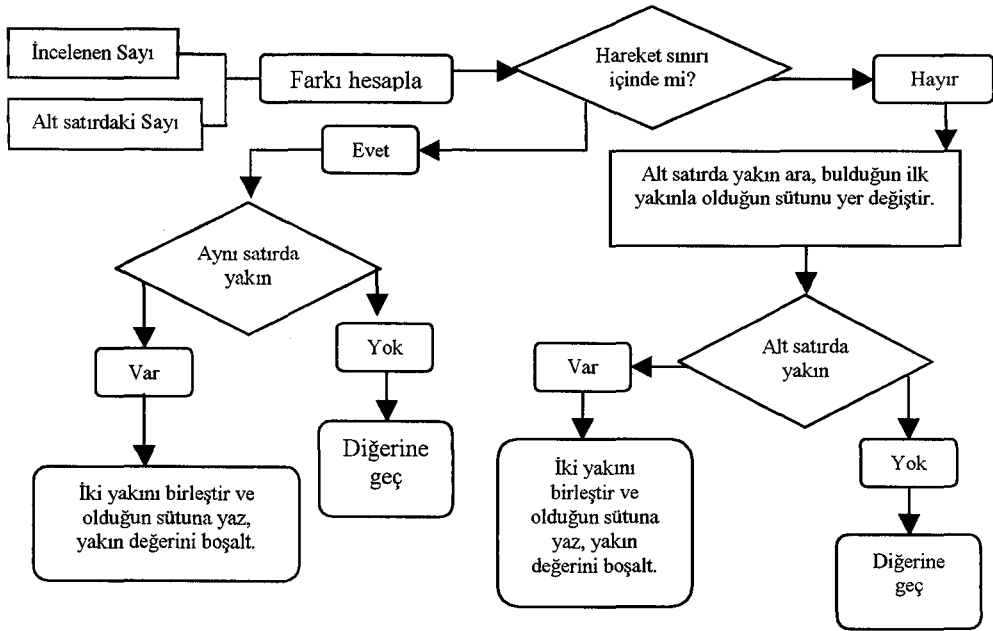
olarak hesaplanır. Oluşturulan tüm senaryoların ürettiği alarmların kararı için bulunan bu süre oldukça kısa bir zaman dilimidir.

Bu sistem için hazırlanan algoritma ile incelenen görüntü karelerinin veri matrisleri (köşe koordinat, orta noktalar ve alan) satır satır gözden geçirilmektedir. Bu esnada aynı resimdeki cisimlerin yakınlık eşiği ve ardışık resimlerdeki aynı cisimlerin hareket eşiği belirlenir. Bu algoritmaya göre;

- Yorumlama  $t$  anında yapılıyorsa,  $(t-2)$  zamanındaki kare verileri başlangıç için baz alınmıştır.  $(t-2)$  anındaki satırın, her bir sütununun  $(t-1)$  ve  $(t-3)$  anlarındaki değerleriyle oluşan hareket vektörleri bulunmuştur.
- Resmin iki ayrı alt bölgesi için belirlenen hareket vektörü eşik değeri  $(t-2)$  anı için hesaplanan hareket vektörleri ile karşılaştırılmıştır. Bu eşiğin altında kalan tüm hareketler doğrudur.
- Aynı satırda incelenen sütun değerine yakın başka bir orta nokta varsa bu noktanın neyi temsil ettiğine bakılır. Yani yakın orta noktanın bir alt ve bir üst satırda hareketini sürdürdüğüne dair veri bulunursa bir işlem yapılmaz. Eğer böyle bir veriye rastlanılmazsa yakın orta nokta, yakın olduğu cisimden kopmuştur kararına varılır. Kopan bu iki kutu birleştirilerek incelenen verinin sütununa yazılmıştır. Ve yakın cismin verisinin bulunduğu sütun boşaltılır.
- $(t-2)$  ve  $(t-1)$  anları arasında hesaplanan hareket vektörü, belirlenen eşik seviyesini aşarsa,  $(t-1)$  anına ait satırda yakın cisim verisi aranır. Bulunan ilk yakın değer ile incelenen sütun değeri yer değiştirilir.  $(t-1)$  anındaki diğer sütunlara bakılır. Başka bir yakın değer varsa, bu değer ile incelenen sütundaki değer verileri birleştirilip incelenen sütuna yazılır. Bulunan ikici yakının sütun değeri boşaltılır. Burada unutulmaması gereken bir diğer

nokta; bulunan ikinci yakının ( $t-1$ ) ve ( $t-2$ ) anındaki hareket vektörünün, hareket eşik seviyesini aşması koşuludur.

Bu yöntem bir çok getiri sağlarken bazı durumlarda veri kaybına sebep olabilir. Örneğin, hareketlerini birbirinden bağımsız sürdüren iki aracı birkaç satır için (yakın sınırının altında olması nedeniyle) tek araç olarak yorumlayabilir. Ama bahsedilen durum, hareketli nesnelerin hızlarına göre, en fazla 10 kare sonra düzeleceği için ( $10*3/25=1.2$  saniye) kayıp çok fazla olmaz. Geliştirilen bu sistemin algoritması Şekil 3.24'de verilmiştir.



Şekil 3.24. Hareket yorumlama akış diyagramı

Bu yöntem öncesinde ve sonrasında orta nokta veri matrisindeki tüm değişiklikler Çizelge 3.7 ile özetlenmiştir. Çizelge 3.7'den de çıkarılacağı üzere  $I$ 'inci cisim hareketini sürdürmektedir. Tablonun 3'üncü satırında 3 ayrı cisim vardır. 2'inci cismin hareketi 2'inci satırda da var olduğu için bu cisim esas alınmıştır. Bu karar aşamasında 3'üncü cisim olarak yakalanan nesnenin, 2'inci cisme olan yakınlığından dolayı, 3'üncü cismin verilerinde kayıplar olmuştur. Bu kayıplar 2'inci cisim olarak bulunan nesnenin 3 ve 10'uncu satırlar arasında şeklini biraz değiştirmiştir. Bu kaybın sebebi iki cismin birbirini çok yakın takip etmesidir. 3'üncü satırda bulunan 3'üncü cisim, 10'uncu satır sonrasında yakınlık

eşliğini aşır hareket eşliğini sağlayacak şekilde hareketine devam etmiştir. Sistem bu durumu 11'inci satırda algılamış ve sonradan bulunan 3'üncü cismin ne olduğu kararına varmıştır ( $[11-3]*3/25 \cong 1$  saniye). Hareket yorumlama için geliştirilen bu sistem, bu süreç içerisinde (124,8), (162,6) ve (168,31) noktalarında bulunan ve gürültü piksellerini çevreleyen kutuları algılamıştır. (168,31) orta nokta değerine sahip kutunun kesin gürültü olduğu karara varıp, bu veriyi matristen silerken bir sonraki değerlendirmesinde aynı karara (162,6) orta noktası için varacaktır. (124,8) orta nokta değerini, kendisine yakın durumda bulunan (125,22) cisim orta noktası sebebiyle korumuştur. Sistem, daha önceden incelenen kısımda yol üzerinde hareketini tamamlayan bir cisim bulamadığı için (Çizelge 3.7'nin 11'inci satırında) (234,87) koordinat noktasında bulduğu yeni cisim için orta nokta matrisine yeni sütun eklemiştir.

Çizelge 3.7. Geliştirilen uzman sistemin örnek verilere verdiği cevaplar

	İnceleme sonucu bulunan değerler								Uzman sistem ile düzenlenen değerler							
	Cisim 1		Cisim 2		Cisim 3		Cisim 4		Cisim 1		Cisim 2		Cisim 3		Cisim 4	
	X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>	X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>
1	110	50	124	8	125	22	168	31	110	50	124	8	125	22	0	0
2	109	53	129	18	162	6	0	0	109	53	162	6	129	18	0	0
3	107	57	126	26	129	10	0	0	107	57	0	0	128	19	0	0
4	106	63	129	9	126	27	0	0	106	63	0	0	126	19	0	0
5	105	66	126	29	128	10	0	0	105	66	0	0	127	20	0	0
6	103	72	125	31	129	11	0	0	103	72	0	0	126	21	0	0
7	97	77	124	36	128	11	0	0	97	77	0	0	125	23	0	0
8	99	83	122	36	126	12	0	0	99	83	0	0	124	24	0	0
9	97	90	127	33	121	40	0	0	97	90	0	0	123	27	0	0
10	94	97	120	42	125	13	0	0	94	97	0	0	122	29	0	0
11	90	106	120	46	126	16	0	0	90	106	126	16	120	46	234	87
12	86	114	119	49	126	17	0	0	86	114	126	17	119	49	233	81

Bu uzman sistem şerit ihlali ve sollama gibi durumları, orta nokta matrisindeki koordinatların, bölünmüş yolun sağında mı yoksa solunda mı olduğuna bakarak analiz etmektedir. Bu sistemde ardışık satırlarda hareket vektöründeki bölgesel büyüklükler, yaklaşık hız tayinini sağlamaktadır. Köşe koordinat değerlerinin resmin alt veya üst sınırlarına göre yakınlığını da değerlendiren bu sistem, böylece cismin görüntü serisindeki hareketini tamamlayıp tamamlamadığına da karar vermektedir.

Taşıt trafiği düzeninde düşünölen tüm hareket senaryoları baz alınarak hazırlanan bu sistemin hatalı alarm üretme durumu deney görüntülerinde meydana gelmiştir. Alarm durumlarının günlüklerinin tutulduğu ve sonradan incelenebileceği göz önüne alınırsa, gerçek alarmların kaçırılmamasının, normal durumları gürültü nedeniyle alarm olarak algılamadan daha önemli olduğu söylenebilir.

#### 4. SONUÇ

Bu yüksek lisans tez çalışması ile, yol üzerinde trafik ve araç durumunun video analiz yöntemleri ile incelenmesi üzerine bir yöntem sunulmuştur. Sunulan bu çalışmanın deney aşamasında kullanılmak üzere yol üzerinde bulunan sabit kameralardan video görüntüleri alınmış ve bu görüntüler üzerinde benzeşim çalışmaları yapılmıştır.

Hareket halindeki üç boyutlu bir nesnenin zamana göre uzaydaki ardışık çizgisel ve açısal konumlarından yararlanarak hareketinin takip edilmesi kontrol uygulamaları açısından son derece önemlidir. Video analizindeki en önemli aşamalardan biri video geçişlerinde hareketli cisimlerin tespit edilmesidir.

Bir bölge tabanlı hareket analizi yöntemi varyantı olan ardışıl iki resmin farkı, incelenen karede hareket potansiyeli olan bölgeleri temsil etmektedir. Analiz edilen görüntü karesindeki cisimlerin bulunması için bu fark resimlerinden yola çıkılmış ve kenar haritaları çizdirilmiştir. Cisim kenarlarının eksiksiz ve hatasız bulunması için incelenen kareye ve referans cisim karesine ön temizleme amaçlı ortanca filtre uygulanmıştır.

İncelenen karedeki hareketsiz piksellerin kullanılan yol resmine yamanması yöntemi ile; incelenen video karesi zamanına göre, referans alınan yol resminin güncelliği sağlanmıştır. Böylece, video süresince, zamana göre değişen hava şartlarının doğurduğu, aydınlanma değişikliği, gölge, kirlenme ... v.s gibi, fark resminin oluşumunu yanıltacak ve analizde hatalara sebep olabilecek sakıncalı durumlar engellenmiştir.

Görüntü işlemede kullanılan filtre ve kenar bulma yöntemleri çok sayıda matematiksel işlem gerektiren işlemlerdir. Analizin işleyiş sürecinin en azda tutulması ve bu işlem yükünün azaltılması için incelenen resimler üzerinde bir ilgi bölgesi oluşturulmuş ve görüntü işleme yöntemleri bu ilgi bölgesi içerisinde gerçekleştirilmiştir.

İkili görüntü işleme yöntemleriyle yol sınırları içerisinde bulunan kenar haritaları iyileştirilmiştir. Kenar haritalarına uygulanan morfolojik operatörler ( $\delta^2$  li köşegen, yok etme ve köprü fonksiyonları) ile güçlendirilen kenar çizgileri, resmin farklı bölgelerine göre belirlenen eşik değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Belirlenen eşikleri aşabilen büyüklükteki kenar çizgilerinin, incelenen karede bir cismi temsil ettiğine karar verilmiş ve bu haritaları çevreleyen en küçük dik açılı kutu cisim bölgesi olarak seçilmiştir.

İncelenen resimlerdeki gürültüler sebebiyle kenar bulma algoritmaları kimi zaman tutarsız sonuçlar vermiştir. Bu ise; ayrı ayrı markalanan kutu veya kutucukların bazen bölünmesine bazen de birleşmesine sebep olmuştur. Bu tür birleşme problemleri kenar haritalarının birbirleriyle karşılaştırılması, varsa kesişimlerinin engellenmesi yöntemi ile çözülmüştür. Bu yöntemin yetersiz olduğu durumlarda, farklı cisimlere ait kenarların kesişimi veya aynı cisme ait kenarların bölünmesi hareket analizi için geliştirilen kurala dayalı uzman sistem ile düzeltilmiştir.

İncelenen karedeki hareketli nesnelere çevreleyen kutular, video süresince çeşitli doğrultularda ve bazen de şekillerini az da olsa değiştirerek hareket etmektedir. Cisim hareketlerinin incelenmesi ve yorumlanabilmesi için, oluşturulan kutuların köşe koordinatlarından yararlanılarak hareket parametreleri üretilmiş ve bu yöntemle, görüntüde yakalanan cisimlerin öznitelikleri çıkarılmıştır.

Resim karelerinde yakalanan her cisim için ayrı ayrı oluşturulan öznitelikler, eski bilgileri yukarı kaydıran, yeni bilgileri alta ekleyen ve en üstteki bilgileri oluşturulan günlüklerde tutan veri matrislerinde saklanmıştır. Kamera-yol açısı göz önünde tutularak:

- yolun farklı bölgeleri için ayrı ayrı hesaplanan hareket eşik sınırlarını aşmayan ve
- aynı sütunun ardışık son üç satırında yer alan,

cisim öznitelik değerlerinin ortalamalarındaki değişimler bulunmuştur. Bulunan bu istatistiksel değerlerin ışığında, incelenecek bir sonraki kare için hareket tahmini yapılmıştır. Böylece incelenen karede tespit edilen cismin bir sonraki karede nerede olabileceğine dair bir hesaplama yapılmıştır. Bu yöntem veri matrislerinin farklı satırlarının aynı sütunlarında, aynı cisme ait bilgilerin tutulmasını kolaylaştırmıştır. Böylece matrislerde yer alan cisimlerin bilgilerine daha kolay ulaşılması sağlanmış ve hareketi takip edilen cisimlerin olası karışıklığı engellenmeye çalışılmıştır.

İncelenen yol üzerindeki araçların gerçekleştirebilecekleri hareket senaryoları göz önünde tutularak geliştirilen kurala dayalı bir uzman sistem ile cisim hareketlerinin yorumu yapılmıştır. Örneğin; önceden beri tek cisimmiş gibi gelen ve bir noktada bölündükten sonra hareketlerini ayrı devam ettiren cisimlerin aslında farklı cisimler olduğuna bu aşamada karar verilmiştir. Bu ve benzeri hareket senaryoları (sollama, şerit ihlali, aşırı sürat, kaza, ... v.s gibi durumlar) için alarmlar üretilmiş ve oluşabilecek bu alarmları üreten cisimlerin verileri farklı günlüklerde saklanmıştır. Görüntü işleme esnasında oluşabilecek hatalar, geliştirilen bu tümleşik sistem ile önlenmeye çalışılmıştır. Bir saniyelik video görüntüsünü oluşturan resimlerden sekiz tanesinin incelenmesi ve inceleme sonucunda elde edilen özniteliklerin her cisim için analiz edilmesi, uzman sistemin doğruluğunu güçlendirmekte ve analiz hatasının en fazla bir saniye gibi kısa bir zamanda düzeltilmesini sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasının deney aşamasında kullanılan video görüntülerinin bazıları için hazırlanan simülasyonlar (benzetimler) MATLAB paket programı kullanılarak geliştirilmiş ve ekteki yoğunteker (CD) ile sunulmuştur.

Analiz edilecek görüntünün sayısal cihazlarla kayıt edilmesi, incelenmek üzere sayısal olarak bilgisayarlara aktarılması geliştirilen bu yöntemin doğruluğunu arttıracaktır. Resmin üç ayrı bölgesi için hesaplanan kenar büyüklüğü, hız ve hareket eşik değerlerinin eniyilenmesi hareket yorumu için geliştirilen sistemin performansını pozitif yönde etkileyecektir.

Yol üzerinde trafik ve araç durumunun video analiz yöntemleri ile incelenmesi problemi, bu çalışma ile sunulan yöntemlerle başarılı bir şekilde çözülmüştür.

Geliştirilen bu sistemin mümkün olan akıllı kartlara yüklenmesi, bu konu ve benzerleri ile ilgili kontrol uygulamalarını gerçekleştiren savunma ve güvenlik sistemleri için gerçek zamanlı bir çözüm olacaktır.



## KAYNAKLAR

- [1]. Zaibi R., *Change Detection in Digital Video Signals*, M.Sc. Thesis, Institute of Engineering and Sciences, Bilkent University (1999).
- [2]. Foresti G.L., *Object Recognition and Tracking for Remote Video Surveillance*, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Tech., **9 / 7**, 1045-1061 (1999).
- [3]. Chan P.K.M., Li C.K, *Motions of Multiple Objects Detection based on Video Frames*, IEEE International Symposium on Consumer Electronics, Hong Kong, 62-66 (2000).
- [4]. Cucchiara R., Mello P. ve Piccardi M., *Image Analysis and Rule-Based Reasoning for a Traffic Monitoring*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, **1 / 2**, 119-130 (2000).
- [5]. Koller D., Daniilidis K. ve Nagel H.-H., *Model-Based Object Tracking in Monocular Sequences of Road Traffic Scenes*, International Journal of Computer Vision, **10 / 3**, 257-281 (1993).
- [6]. Lipton A., Fujiyoshi H. ve Patil R., *Moving Target Classification and Tracking from Real-time Video*, IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV), Princeton NJ, 8-14 (1998).
- [7]. Koller D., *Moving Object Recognition and Classification based on Recursive Shape Parameter Estimation*, In Proc. 12<sup>th</sup> Israel Conference on Artificial Intelligence, Computer Vision, Ramat Gan, Israel, 359-368 (1993).
- [8]. Koller D., Daniilidis K., Thorhallson T., ve Nagel H.-H., *Model-Based Object Tracking in Traffic Scenes*, In Proc. Second European Conference on Computer Vision, LNCS 558, Springer-Verlag, 437-452 (1992).
- [9]. Cucchiara R., Grana C., Piccardi M. ve Prati A., *Statistic and Knowledge-based Moving Object Detection in Traffic Scenes*, in Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC2000), 1-3 (2000).
- [10]. Rosenberg Y., Werman M., *Real-Time Object Tracking from a Moving Video Camera: A Software Approach on a PC*, IEEE Workshop on Applications of Comuter Vision, Princeton, 238-239 (1998).
- [11]. Stiller C., Konrad J., *Estimating Motion in Image Sequence: A Tutorial on Modeling and Computation of 2D Motion*, IEEE Signal Process. Mag., **16**, 70-91 (1999).

- [12]. Tan M., Siegel J. M., ve Siegel H. J., *Parallel Implementations of Block-Based Motion Vector Estimation for Video Compression of Four Parallel Processing Systems*, International Journal of Parallel Programming, **27 / 3**, 195-225 (1999).
- [13]. Stiller C., Konrad J., *Estimating Motion in Image Sequences*, IEEE Signal Processing Mag., 1053-5888/98 (1998).
- [14]. Stiller C., Konrad J., *Estimating Motion in Image Sequences*, published in the IEEE Signal Processing Mag., **16 / 4** (1999).
- [15]. Koller D., Klinker G., Rose E., Breen D., Whitaker R. ve Tuceryan M., *Real-time Vision-Based Camera Tracking for Augmented Reality Applications*, in the Proceedings of the Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST-97), Lausanne, Switzerland, 87-94 (1997).
- [16]. Rosenberg Y., Werman M., *Real-Time Object Tracking from a Moving Video Camera: A software Approach on a PC*, WACV98, 238-239 (1998).
- [17]. Young D., *Static Camera and Moving Objects: Image Differencing*, Lecture Notes for Postgraduate courses in Computer Vision in the School of Cognitive and Computing Sciences at the University of Sussex Falmer Brighton UK, <http://www.cogs.susx.ac.uk/users/davidy/teachvision/#heading3> (1994).
- [18]. Iwasawa S., Ohya J., Takahashi K., Sakaguchi T. ve Morishima S., *Human Body Postures from Trinocular Camera Images*, Proceedings of the Fourth IEEE International Conference on Automated Face and Gesture Recognition (2000).
- [19]. Wixson L., Hansen M., *Detecting Salient Motion by Accumulating Directionally Consistent Flow*, Proceedings of the International Conference on Computer Vision (1998).
- [20]. Pavlidis I., Morellas V., ve Papanikolopoulos N., *A Vehicle Occupant Counting System Based on Near-Infrared Phenomenology and Fuzzy Neural Classification*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, **1 / 2**, 72-85 (2000).
- [21]. Gonzalez R.C., Woods R.E., *Dijital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, USA (1993).
- [22]. Vincent L., *Morphological Grayscale Reconstruction in Image Analyses: Applications and Efficient Algorithms*, IEEE transactions on Image Processing, **2 / 2** (1993).
- [23]. Zhou Z., Venetsanopoulos A.N., *Morphological Methods in Image Coding*, Department of Electrical Engineering University of Toronto, Ontario, Canada (1996).