

**GEOMETRİK OLMAYAN NESNELERİN GRİ
DEĞERLER YARDIMIYLA OTOMATİK OLARAK
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Timur Murat ÇELİKOYAN
(501970630011)**

98487

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 Mayıs 1999
Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Haziran 1999**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Orhan ALTAN

Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Ahmet YAŞAYAN (Y.T.Ü.)

Doç.Dr. Gönül TOZ (İ.T.Ü.)

[Handwritten signatures of Prof. Dr. M. Orhan ALTAN, Prof. Dr. Ahmet YAŞAYAN, and Doç. Dr. Gönül TOZ]

Temmuz 1999

ÖNSÖZ

Digital Fotogrametri, haritacılık dışında da birçok disiplinlerde en hızlı, en ekonomik ve en doğru çözüm olarak benimsenmiş ve etkin uygulama alanları bulmuştur. Hızla gelişen teknolojiye payına düşeni almış ve süratle gelecek binyıla hazırlanmıştır. Bilgisayar kapasitelerinin artması ve insanoğlunun ufkunun daha da ilerlemesi, digital fotogrametride otomasyonun ilerlemesini beraberinde getirmiştir.

Hazırladığım tez çalışmamda bu teknolojiyi daha iyi öğrenme ve digital fotogrametrinin otomatik ve yarı otomatik uygulamalarından birini gerçekleştirme fırsatını buldum.

Tez çalışmam esnasında geniş bilgi ve tecrübesinden yararlandığım hocam Prof. Dr. M. Orhan ALTAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma süresince destek ve yardımlarını esirgemeyen Fotogrametri Anabilim Dalı öğretim üyeleri Doç. Dr. Sıtkı KÜLÜR'e, Doç. Dr. Dursun Z. ŞEKER'e, Fotogrametri Anabilim Dalı araştırma görevlisi Müh. Bahadır ERGÜN'e, tez çalışmam esnasında önemli destek ve yardımlarını gördüğüm Bülent DEMİRCA ve Mehmet DOLUNAY'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca benden her türlü desteğini esirgemeyen ablalarım Dr. Olcay GÜNDOĞDU ve Meltem BALDAN'a, annem S. Ayten ÇELİKOYAN'a ve anılarımda yaşattığım babam Top. Plt. Alb. Y. Ceyhan ÇELİKOYAN'a minnettarım.

Temmuz 1999

T. Murat ÇELİKOYAN

İÇİNDEKİLER

SEMBOL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. FOTOGRAMETRİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ	6
2.1 Tarihsel Gelişimiyle Fotogrametri	7
3. FOTOGRAMETRİNİN TEMELLERİ	10
3.1. Optik Temeller	10
3.1.1. Mercek kusurları.....	10
3.2. Fotografik Temeller	13
3.3. Matematik Temeller	15
3.3.1. Fotogrametride koordinat sistemleri.....	17
4. DİJİTAL GÖRÜNTÜ SİSTEMLERİ.....	19
4.1. Digital Görüntünün Tanımı ve Özellikleri.....	19
4.2. Digital Görüntünün Kesikli Bir Fonksiyon Olarak Gösterilimi	20
4.3. Digital Görüntülerdeki Piksel Komşulukları.....	21
4.3.1. 4'lü komşuluk	21
4.3.2. 8'li komşuluk	21
4.3.3. 6'lı komşuluk	21
4.4. Digital Görüntülerin Kalitesi.....	23
4.5. Digital Görüntü Elde Etme Yöntemleri	28
4.5.1. Digital kameralar	28
4.5.1.1 Alansal düzen.....	28
4.5.1.2 Doğrusal düzen	29
4.5.1.3 Üçlü Doğrusal düzen	29
4.5.1.4 Interline transfer	29
4.5.1.5 Full frame	29
4.5.2 Tarayıcılar	31

5. FOTOGRAMETRİDE OTOMASYON	32
5.1 İç Yöneltilme	32
5.2 Dış Yöneltilme	38
5.3 Üç Boyutlu Değerlendirme	38
6. UYGULAMA.....	41
6.1. Sekizli Komşuluk	41
6.2. İkili Dörtlü Komşuluk.....	43
6.3. Dörtlü Üçlü Komşuluk.....	44
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49

KAYNAKLAR.....	53
-----------------------	-----------

ÖZGEÇMİŞ.....	54
----------------------	-----------



SEMBOL LİSTESİ

λ	: Ölçek Faktörü
x_i, y_i	: Resim Koordinatları
D	: Dönme Matrisi
c	: Kamera Sabiti
x_0, y_0	: Resim Ana Noktası Koordinatları
X_0, Y_0, Z_0	: İzdüşüm Merkezi Koordinatları
X_i, Y_i, Z_i	: Cisim Koordinatları
h	: Uçuş Yüksekliği
ω, ϕ, χ	: Resimlerde Dönme Açıları
η, ξ	: Digital Görüntülerde Koordinat Eksenleri
$\Delta\eta, \Delta\xi$	: Piksel Genişlikleri



TABLO LİSTESİ

TABLO 4.1 : Bazı Digital Kameraların Karşılaştırılması

30



ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL 2.1	: Fotogrametrinin Tarihsel Gelişimi.....	8
ŞEKİL 3.1	: Optik İzdüşüm.....	10
ŞEKİL 3.2	: Distorsiyon Nedeniyle Öteleme.....	12
ŞEKİL 3.3	: Resim Fonksiyonun Gidişi	12
ŞEKİL 3.4	: Fotografik Malzemenin Katmanları.....	13
ŞEKİL 3.5	: Siyah Beyaz Negatifin Elde Edilmesi ve Siyah Beyaz Pozitifin Elde Edilmesi.....	14
ŞEKİL 3.6	: Merkezi İzdüşümün Fotografik Temsili.....	15
ŞEKİL 3.7	: Fotogrametride Koordinat Sistemleri.....	18
ŞEKİL 4.1	: Digital Görüntünün Yapısı	19
ŞEKİL 4.2	: Digital Görüntülerde Komşuluklar	22
ŞEKİL 4.3	: Digital Görüntü Sistemleri İçin Birim Renk Kübü	22
ŞEKİL 4.4	: RGB Tonlu Görüntü ve Renk Kanallarına Göre Histogramları	24
ŞEKİL 4.5	: Gri Renk Tonlu Görüntü ve Histogramı.....	25
ŞEKİL 4.6	: Noise Hatası Giderilmemiş Gri Renk Tonlu Görüntü ve Histogramı	26
ŞEKİL 4.7	: Noise Hatası Giderilmiş Gri Renk Tonlu Görüntü ve Histogramı	27
ŞEKİL 5.1	: Hedef ve Arama Matrisleri	33
ŞEKİL 5.2	: Hedef ve Arama Matrislerinin Grafik Gösterilimi.....	35
ŞEKİL 5.3	: Tamamı Hedef Matris İçerisinde Tanımlanmamış Reseau Noktası ve Otomatik İç Yöneltilmede Karşılaşılan Hatalı Ölçme	37
ŞEKİL 5.4	: Tamamı Hedef Matris İçerisinde Tanımlanmış Reseau Noktası ve Otomatik İç Yöneltilmede Elde Edilen Doğru Sonuç.....	37
ŞEKİL 6.1	: Sekizli Komşulukta Numaralandırmalar	42
ŞEKİL 6.2	: Sekizli Komşuluk Algoritmasının Gösterilimi	42
ŞEKİL 6.3	: İkili Dörtlü Komşulukta Numaralandırmalar	43
ŞEKİL 6.4	: İkili Dörtlü Komşuluk Algoritmasının Gösterilimi	44
ŞEKİL 6.5	: Dörtlü Üçlü Komşulukta Numaralandırmalar	45
ŞEKİL 6.6	: Test Alanı	46
ŞEKİL 6.7	: Dörtlü Üçlü Komşuluk Algoritmasının Gösterilimi	47
ŞEKİL 6.8	: Geliştirilen Program Kullanılarak Yapılmış Bir Uygulama Dinar Depreminde (1995) Hasar Görmüş olan Dinar Lisesi Binası Üzerindeki Çatlakların Belirlenmesi.....	48
ŞEKİL 6.9	: Geliştirilen Program Kullanılarak Yapılmış Bir Uygulama SPOT Uydusunun Pankromatik Kanalından Alınmış, İstanbul Bölgesine Ait Uydu Görüntüsü üzerinden Kıyı Şeridinin Otomatik Olarak Belirlenmesi	49
ŞEKİL 6.10	: Geliştirilen Program Kullanılarak Yapılmış Bir Uygulama Hava Fotoğrafları Üzerinden Sınır Bölgelerinin Otomatik Olarak Belirlenmesi	50

GEOMETRİK OLMAYAN NESNELERİN GRİ DEĞERLER YARDIMIYLA OTOMATİK OLARAK BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı digital görüntülerde geometrik olmayan nesnelerin otomatik olarak ölçülmesi olmuştur. Bu amaçla digital görüntülerin yapıları incelenmiştir. Özellikle digital görüntülerin yapıtaşları olan pikseller arasındaki komşuluklar üzerinde çalışılan önemli konulardan birisi olmuştur.

Digital görüntülerde pikseller arasında farklı komşuluk ilişkileri bulunmaktadır. Bunlar:

- 4'lü Komşuluk
- 8'li Komşuluk
- 6'lı Komşuluk'tur.

Piksellerin birbirlerine göre kartezyen konumda yer aldıkları ilk iki komşuluk şekli düzgün yapıda komşuluk olarak adlandırılmaktadır. Bunun yanında üçüncü komşuluğa sahip pikseller ise hegzagonal yapıda bir komşuluk ilişkisindeirler. Digital fotogrametride kullanılan görüntülerde pikseller 8'li komşuluk ilişkisine sahiptirler.

Digital görüntülerin diğer önemli bir özelliği de renk'tir. Bu özellik farklı şekilde karşımıza çıkmaktadır. Bu formlardan en önemlileri gri tonlu görüntü ve RGB olarak adlandırılan kırmızı (Red), yeşil (Green), mavi (Blue) tonlu görüntülerdir. Gri renk tonlu bir görüntüdeki pikseller 0 ile 255 arasında bir tamsayı olan gri tonu bilgisini taşımaktadırlar. Burada 0 siyah, 255 ise beyaz rengi temsil etmektedir. RGB tonlu görüntülerde ise bu özellik her renk kanalı için ortaya çıkmaktadır. Bunun anlamı ise RGB tonlu bir görüntüyü oluşturan piksellerin her kanal için toplam üç ayrı renk bilgisini taşımasıdır. Bu sebeple RGB tonlu görüntüler bilgisayar ortamında gri renk tonlu görüntülere oranla daha büyük yer kaplarlar.

Bu çalışmanın uygulama safhasında digital fotogrametrinin birçok uygulamasında olduğu gibi gri renk tonlu görüntüler üzerinde çalışılmıştır. Amaç, digital görüntü içeriğindeki detayların sınırlarının belirlenmesidir. Bunun için Visual Basic 5.0 programlama dilinde bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bu işlem esnasında en önemli adım, hedeflenen amacı gerçekleştirebilecek algoritmanın saptanması olmuştur. Birçok algoritma üzerinde çalışılmış ancak bunlardan üç tanesi seçilmiş ve kodlanarak denenmiştir. Bu algoritmalarından aşağıda bahsedilmiştir:

- Sekizli Komşuluk Algoritması: Bu algoritmada durulan piksele komşu olan sekiz pikselin tamamı aynı döngü içine alınmıştır. Durulan piksele KD yönündeki piksel 1

olarak numaralandırılmış ve diğerleri 2'den 8'e kadar saat yönünde numaralandırılmıştır.

7	8	1
6	0	2
5	4	3

Şekil 1.: Sekizli Komşuluk Algoritmasında Komşulukların Numaralandırılması

İlgili detayın sınırlarının belirlenmesi amacıyla digital görüntüye ait matris içerisinde 1 numaralı komşuluğun grilik değeri alınmaktadır. Eğer alınan grilik değeri kullanıcı tarafından belirlenen sınırlar içerisinde kalıyor ise bu piksel işaretlenir. Bunun aksi durumda aynı işlem 2 numaralı komşuluk için tekrarlanır. Bu işleme hedef piksel işaretlenene kadar devam edilir. Herhangi bir piksel işaretlenir ise, bu piksel bir sonraki arama işleminde durulan piksel olarak belirlenir. Bir sonraki arama işleminde de grilik değeri ilk olarak 1 numaralı komşuluğa sorulur. Kullanışlı bir algoritma olarak görünmesine rağmen, detayı belirleyen sınırın yön değiştirmesi esnasında önemli problemlerle karşılaşmaktadır. Bu durumlarda ölü alanlarla karşılaşmaktadır.

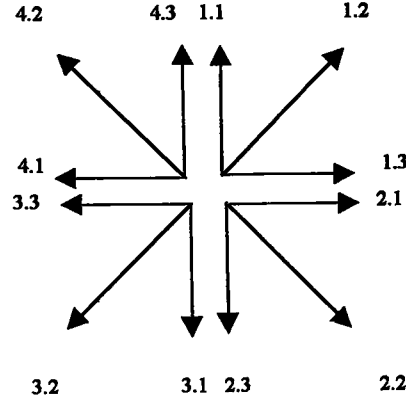
- İkili Dörtlü Komşuluk Algoritması: Bu algoritmada iki farklı döngü ile çalışılmıştır. Şekil 2.'de görüldüğü gibi sekiz komşuluk iki döngüye bölünmüştür.

2.3	2.4	1.1
2.2	0	1.2
2.1	1.4	1.3

Şekil 2.: İkili Dörtlü Komşuluk Algoritmasında Komşulukların Numaralandırılması

Şekil 2.'de pikselleri ifade eden numaralarda ilk rakam döngü numarasını, ikinci rakam ise komşuluk numarasını ifade eder. Şu ana kadar anlatılan iki algoritma arasındaki temel farklılık, ikinci algoritmadaki aramanın bir önceki aramanın sonuçlandığı döngü içerisindeki 1 numaralı komşuluk ile başlıyor olmasıdır. İlk algoritmadaki ölü alan problemi, ikinci algoritmada kısmen çözülmüştür, ancak otomatik olarak belirlenecek olan nesnenin geometrisine bağlı olarak devam etmektedir.

- Dörtlü Üçlü Komşuluk Algoritması: Bu algoritmada K, G, D, B yönlerinde birer tane ortak yön içeren dört farklı döngü ile üzerinde çalışılmıştır. İlk iki algoritmada karşılaşılan ölü alan probleminin giderilmesi için ardışık döngüler içerisinde ana yönlerde ortak komşuluklar olmasına karar verilmiştir. Bu algoritmada kullanılan komşuluklar ve numaralandırılması Şekil 3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.: Dörtlü Üçlü Komşuluk Algoritmasında Komşulukların Numaralandırılması

Arama işlemi temel mantığında ikinci algoritma ile çok yakındır. Aralarındaki farklılık ise herhangi bir döngünün 1 numaralı komşuluğunda hedef piksel bulunduğu takdirde, bu pikselin bir önceki döngünün 3 numaralı komşuluğu ile işaretleniyor olmasıdır. Bu şekilde arama işlemi her yöne dönebilmekte ve istenen her nesne amaca uygun olarak belirlenebilmektedir.

Bu çalışma esnasında önemli adımlarda bir de, arama sonucunda bilgisayar belleğine kaydedilen data dosyasının boyutunun küçültülmesi olmuştur. Bu amaçla belirlenen hat üzerinde her noktada eğim hesaplanmış ve eğimin değiştiği kırılma noktaları belirlenerek diğer noktalar ayıklanmıştır. Bu şekilde data dosyası yaklaşık olarak 1 Mbyte boyutundan 30-40 Kbyte mertebelerine kadar küçültülmüştür.

Yukarıda anlatılan adımlar, bu çalışmanın önemli safhalarını oluşturmaktadır. Ancak önemli olan bazı noktalar daha bulunmaktadır. Bu işlemleri doğru bir şekilde gerçekleştirmek için digital görüntülerin elde edilmelerine ve yapılarına bağlı olarak bazı özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Fotogrametrik modelin oluşturulacağı görüntüler yaklaşık aynı açıdan çekilmelidir.

Bu işlemleri etkileyen diğer bir parametre ise digital görüntü üzerinde noise olarak tanımlanan düzensiz hatalardır. Görüntü histogramlarını kullanarak bu hata elemine edilebilir. Eğer digital bir görüntüye ait histogram normal dağılıma uymakta ise, görüntü kalitesi daha iyi olmaktadır.

Görüntü kalitesinin dışında görüntü içeriği de önemli bir noktadır. İçeriğe bağlı olarak hat izleme esnasında birtakım istenmeyen sonuçlarla karşılaşılabilir.



Şekil 4.: Görüntü İçeriğine Bağlı Olarak Karşılaşılan Hatalı Hat İzleme

Şekil 4.'de gösterildiği gibi, yol çevresindeki düzensiz yapıdaki ağaçlar sebebiyle hatalı hat izleme ile karşılaşılabilir. Bu gibi hatalardan kullanıcı müdahalesi ile veya ileri programlama tekniklerinde kullanılan yapay sinir ağlarının programa dahil edilmesi ile korunulabilir.

AUTOMATIC DETERMINATION OF NON-GEOMETRIC OBJECTS USING GRAYVALUES

SUMMARY

The aim of this study is to measure the non-geometric items automatically in digital images. In order to achieve this aim, structure of digital images is studied. Especially neighbourhood features between pixels, which are one of the structural elements of a digital image, was the most important object that is worked on.

Digital images have some kinds of neighbourhoods. These are:

- 4-neighbourhood
- 8-neighbourhood
- 6-neighbourhood

The first two neighbourhoods are known as ordered neighbourhood, in which the pixels have the location in a Cartesian form to each other. But pixels having the third neighbourhood are located in a Hexagonal form. Normally, digital images used in digital photogrammetry are in the 8-neighbourhood form.

Another property of a digital image is the colour. This property comes out in several forms. Two and the most important forms are greyscale form and RGB form, which refers to Red, Green and Blue form. A pixel in an image has the grey value between 0 and 255 when it is in greyscale form, where 0 is black and 255 is white. In RGB form, this value comes out for every three colours channels. That means a pixel in a RGB image has three different colour values. This is the reason for a big size of RGB images in digital form.

In this application, as in the most applications of photogrammetry, digital images having greyscale form are studied. Our aim is to match the lines, which belongs to the details in digital images. For this purpose a computer programme is coded using Visual Basic 5.0. The most important point in this programme was to develop the algorithm. Several algorithms are worked on. But only three of these algorithms are coded in order to realise the purpose. These algorithms are discussed below:

- Eight-Neighbourhood Algorithm: In this algorithm, all the eight pixels are directly in the same circle around the pixel to be examined. The pixel located in NE position to the standing pixel is numerated as 1 and to others from 2 to 8 in clockwise direction.

7	8	1
6	0	2
5	4	3

Fig.1.: Numbers of pixel neighbourhoods in eight neighbourhood algorithm

Aiming matching the borderline of the detail, grey value of the 1st neighbourhood has taken from the array, which belongs to the image. If the difference of grey values between standing pixel and the 1st neighbour is in the difference border given by the user, this pixel is matched. In the other case the same process is done with the pixel located in the 2nd neighbourhood. This process is used until the target pixel is matched. If any pixel is matched, this pixel is the standing point for the second search. In the case of matching any pixel, search continues begin with the 1st neighbourhood. In spite of seeming as a useful algorithm, it has some difficulties when the borderline of the detail changes the rotation. Some dead areas are coming out.

Two Times Four-Neighbour Algorithm: In this algorithm, two different circles are worked on. All of the eight-neighbourhoods are divided into two circles as shown in Fig.2.

2.3	2.4	1.1
2.2	0	1.2
2.1	1.4	1.3

Fig.2: Numbers of pixel neighbourhoods in two times four-neighbourhood algorithm

In Fig.2. the first numbers are referring to the circle number, where the seconds are referring to the neighbourhoods. The difference between these two algorithms is that, in the second algorithm the search process begins with the 1st neighbourhood of the circle, which is used by the previous search. The problem in the above first algorithm has solved in this way. But in some cases depending on the geometry of the detail, some dead areas comes also out.

Four Times Three Neighbourhood Algorithm: In this algorithm, four circles are studied, which have the same rotation in N, E, W and S. Regarding the problems in the first two algorithms, it has been exposed that every circle must have the same neighbourhood in the basic rotations. The neighbourhoods are shown in Fig.3.

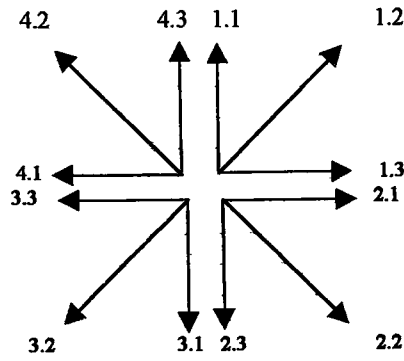


Fig.3: Numbers of pixel neighbourhoods in four times three-neighbourhood algorithm

The main process is very similar to the second algorithm. The difference is that the pixel is matched with the 3rd neighbourhood of the previous circles, if it is founded using a 1st neighbourhood of the present circle. In that way, the search process can be changed in any rotation and every borderline can be matched.

Another process is that the data size after this algorithm is so large that it slows down the computer process speed. In order to avoid this problem, only break points of the borderline are selected. For this purpose, gradient of this borderline is determined in every point and the points, by which this numerical value has changed, are taken to the data. In that way, the size of the data is minimised approx. from 1 Mbytes to 30-40 Kbytes.

These are the main points of the study. But there are some important points. In order to make these processes; images must have some features depending on the acquisition geometry and their structural properties. Images, from which the photogrammetric model is generated, must be captured approximately in the same angle relative to the object, which will be evaluated.

Another parameter, which effects this process, is noise on the image. Noise is described as random error in the image depending on the grey values of pixels. Using histograms we can avoid this problems also aside. If the histogram fits to the normal distribution, the image quality is improved.

Except the image quality, content of the image is another important point. Related with content, there can be some false feature matching.



Fig 4: False Feature Matching Related With Image Content

As shown in Fig.4., the trees are unordinary objects on the road, this fact causes that the matching line to follow the other border of the road. These kind of errors can be corrected by the user or other logical algorithms which should be developed in the advanced part of this study.

1. GİRİŞ

Fotogrametri harita hazırlamadan başlayarak sayısal arazi modelleri ve ortofoto haritalarla birlikte, coğrafi bilgi sistemlerinin katmanlarına veri girişi hazırlayan yöntemler arasında en yaygın olarak kullanılanıdır. Bu özelliklerinden ötürü fotogrametri özellikle bilgisayarların gelişim süreci içinde önemli teknolojik gelişmeler kaydetmiş, fotogrametrik değerlendirme daha önceki yıllarda uygulanan diğer ölçme yöntemleri olan analog ve analitik değerlendirme yöntemlerine göre daha kolay ve az maliyetle sağlanır bir hale gelmiştir.

Fotogrametrik yöntemlerin temel amaçlarından resim çekimi anındaki koşulları değerlendirme aletleri yardımıyla tekrar elde oluşturmaktır. Fotogrametrinin diğer yöntemlere göre temel farkı ise, ölçmelerin doğrudan doğruya cisim üzerinde yapılması yerine cismin fotografik izdüşümü üzerinde yapılmasıdır. Bu dolaylı ölçme özelliği fotogrametriye değişik alanlarda uygulama olanağı vermektedir. Dolaylı ölçme yapma özelliği ve fotografik izdüşümün fiziksel özelliği fotogrametrik ölçmelerin başta gelen avantajlarıdır.

Fotogrametrinin temel uygulama alanı, plan ve harita yapma işlemi olmakla birlikte, zamanla modern tekniğe göre fonksiyonlarını arttırmış ve günümüzde hemen her bilim dalında kullanılmaya başlanmıştır.

Fotogrametri, resim çekme noktasının konumuna göre;

- 1) Hava Fotogrametrisi,
- 2) Yersel Fotogrametri,

olmak üzere ikiye ayrılır.

Uygulama alanına göre bir sınıflandırma yapılacak olursa;

- 1) Fotogrametrinin topografik olmayan uygulamaları,

2) Fotogrametrinin topografik uygulamaları,

olarak iki ayrı sınıfta incelenmelidir.

Topoğrafik olmayan fotogrametri ise kendi içerisinde;

1) Yakın Resim Fotogrametrisi

a) Mimarlık Fotogrametrisi

b) Biostereometri

c) Endüstri Fotogrametrisi

2) Farklı Ortamlar Fotogrametrisi

3) Röntgen Fotogrametrisi

alt başlıklarında sınıflandırılmıştır.

Kullanım kolaylığı ve ekonomik olması sonucunda fotogrametrinin kullanım alanları genişlemiş ve birçok disiplinlerde kullanılmaya başlanmıştır.

- Haritacılık: Jeodezik yöntemlere göre daha hızlı ve hassas haritalama amacıyla kullanılır. Özellikle büyük arazi parçalarında önemli derecede hız ve ekonomi sağlar.
- Mimarlık: Önemli yapıların mimari projelerinin ve rölövelerinin bilgisayar ortamına aktarılmasının kapsar.
- Tıp: Fotogrametri ortopedi, dermatoloji, diş hekimliği gibi dallarda araştırma, teşhis ve tedavi aşamalarında kullanılmaktadır.
- Tarih: Tarihi değeri olan birçok yapının sit ve arkeolojik alanlardaki bilgilerinin belgelenmesi, bilgisayar ortamına aktarılması ve saklanması, fotogrametrik yöntemlerle daha hassas ve ekonomik olarak gerçekleştirilmektedir.
- Endüstri: Birçok endüstri ürününün tasarlanması ve yenilenmesinde, fotogrametrik yöntemlerden faydalanılmaktadır.

- Bilgi Sistemleri: Bilgi Sistemlerine altlık hazırlanması ve verilerin toplanmasında fotogrametri en önemli veri elde etme yöntemlerinden biridir.

Fotogrametrik yöntemlerin sağladığı avantajlar ise şu şekilde sıralanabilir:

- Cisimlere dokunmadan cismin ölçmesi yapılabilir,
- Ölçme işlemi yer ve zaman yönünden resim çekiminden bağımsız olup sakin ve rahat bir ortamda her an yapılabilir ve tekrarlanabilir,
- Resimler birer döküman olup istenildiği zaman tekrar kullanılabilir,
- Karmaşık ve hareket halindeki cisimlerin biçim ve davranışları güçlük çıkarmadan çıkarılabilir,
- Gözle görülemeyen ışıklardan belirli bir sınır içinde yararlanılabilir.

Hava fotoğrafları; insanlara çevre yapısı hakkında oldukça geniş bilgi verirler. Elektronik sistemlerin kullanılmasında son adım fotogrametrinin değerlendirme olayının ölçme resminden hazır haritaya uzay koordinatlarının tesbitine ve digital arazi modeline kadar tam otomatikleşmesidir.

Fotogrametride izdüşüm için mevcut olan birçok modelden grafik bakımdan ancak biri ele alınabilir. Bu da merkezi izdüşüm modelidir. Geometrik olarak merkezi izdüşüm, uzaydaki noktaların bir düzleme bu düzlem dışındaki bir noktadan geçen doğrular vasıtasıyla izdüşümüdür. Problemin matematik analizi, çözüm için gerekli analitik ve geometrik yöntemleri sağlar.

Fotogrametrinin çok hızlı gelişmesi sonucu olarak fotogrametri değerlendirme yöntemlerine gittikçe fazla etki ettiği otomatik data işlemleri çağında, resim ölçmesi bilimi de bilgi teorisi (Enformasyon teorisi) çerçevesine almak mantıklıdır. Bu görüş açısında fotogrametri, fotoğrafların data içeriğinin işlenmesi sayılabilir.

Fotogrametri, ölçme tekniğini yöntem ve pratik bakımdan genişletmiş ve ona bir kısım yeni olanaklar ve uygulama alanları vermiştir.

Fotogrametrinin esas uygulama alanı şüphesiz ki topoğrafyadır. Fotogrametrinin burada sağladığı gelişme, ölçme ve değerlendirmelerin hızlılığında, ek olarak da

fotogrametrik olarak çizilmiş tesviye eğrilerinin, bilhassa nokta nokta çalışan yöntemlerin genellikle daha az verimli oldukları kırıklı ve oldukça eğimli arazilerde hassasiyet ve şekle uygunluklarıdır. Yeryüzünün en zor arazi biçimlerini oldukça iyi bir derecede doğru olarak yansıtan tesviye eğrileri topografya ve aynı şekilde kartoğrafya alanında önemli bir ilerleme ifade eder. Bugün birçok arazi ölçmelerinde fotogrametriden yararlanılmaktadır. Klasik yöntemlerin yanısıra ve ondan hiçbir şekilde etkilemeden hızlı bir çalışma temposuna olanak sağlaması fotogrametrinin değerini en iyi şekilde belirtir.

En önemli özel bir uygulama sahası lokal hava fotoğrafı sayesinde mümkün olmuştur. Coğrafik, jeolojik ve tarih öncesi devir araştırmaları birçok araştırma amaçları için tabiatı aynen yansıtmaya ve bölge hakkında genel fikir verme olanağından yararlanılır. Ülkenin büyük hacimli incelemeleri ve ilk ölçmeleri de, bilhassa zemin ve bitki örtüsü bakımından incelemelerinde hava fotoğrafı yorumlaması büyük değere sahiptir. Birçok bakımdan hava fotoğrafı araştırma ve açıklamalarda vazgeçilmez rol oynarlar. Topoğrafik haritaların devamlı yenilenmesi ve tamamlanması bugün hava fotoğraflarına dayanır.

Hava fotoğraflarından elde edilen hava fotoğrafı planları çevre incelemesi, yerleşme bölgeleri, şehir büyümeleri, toprak zenginliklerinin tahmini v.b. için vazgeçilmez bir kaynaktır. Yoğun ülke ölçmeleri için sabit olmayan alanların sınırlı bir hassasiyetle, fakat çok çabuk ölçülmesine olanak sağlayan hava triyangülasyonu sayesinde elde edilen olanak önemlidir.

Fotogrametrinin hala değişik bir şekilde yargılanan diğer bir uygulama sahası da kadastro ölçmeleridir. Fotogrametrinin bir diğer uygulama alanı mühendislik çalışmalarıdır. Hava fotoğrafı ve hava fotoğrafı planları su ve yol yapılarının, yolların toprakla dolması ve yön değiştirmelerinin incelenmesinde önemli bir dökümandır.

Fotogrametrinin başarıyla kullanıldığı özel alanlardan bazıları olarak; orman düzenleme işleri, röntgenoloji ve zoolojik amaçlar için hayvanların vücutlarının ölçülmesi, kriminal amaçlar için olay yerinin tesbit edilmesi sayılabilir. Bu alanda topoğrafik haritalamalar, keşif seyahatlerinde, keşfedilmemiş alanların ölçülmesinde veya coğrafik, jeolojik ve botanik amaçlar için kesin bilimsel alanların

araştırmalarda, ek olarak da buzulların yeraldığı alanlarda incelemeler için ölçme işlerinde, akıntıların keşfedilmesinde, deformasyon ölçmelerinde ve fotogrametrinin geniş alanlarda olduğu gibi çok çeşitli şekilde kullanılırlar.

Son olarak fotogrametrinin gelecekteki uygulama alanı olan geniş arazi ölçmeleri sayılabilir. Geniş arazi ölçmeleri fotogrametri sayesinde birçok açıdan yeni temele oturtulmuş, jeodezik ve topoğrafik bakımdan şimdiye kadar yalnız sınırlı bir çerçevede çözülebilen problemlerin çözümü imkan dahiline girmiştir.

Mimarlık fotogrametrisinin çalışma alanı içine sadece binaların çizimi girmemektedir. Aynı zamanda binaların hasardan sonra yeniden yapılması, deformasyon değişikliklerinin ve restorasyon çalışmalarındaki ölçmelerin elde edilmesi de mimarlık fotogrametrisi içine girmektedir. Günümüzde fotogrametri bütün mimari çalışmalarda geniş çapta kullanılmaktadır. Aynı zamanda yakın resim fotogrametrisinin ilk uygulamaları arasında Mimarlık Fotogrametrisi de önemli bir yer tutar.

2. FOTOGRAMETRİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Perspektifin bulunması ve Leonardo Da Vinci ve Albrecht Dürer gibi sanatçılar tarafından resim sanatında kullanılması ile, geometri uzayın düzleme tasvirine ait kurallarla ilgilenmeye ve bunları düzlem perspektiflerden ve 3 boyutlu cisimlerin yeniden inşa edilmesinde kullanılmaya başlanmıştır. İsviçreli tabiat bilgini M.A. Kappelerlik olarak, bu imkanlardan topoğrafik amaçlar için faydalanmıştır.

Topoğrafik fotogrametri de Alman jeologlar tarafından ele alınmış ve geliştirilmiştir. W. Jordan, bunu 1874'de Sahra Vahası Dachel'de başarıyla kullanmış ve böylece yeni yöntemin bilinmeyen bölgelerdeki keşif seyahatlerinde başarılı olacağını göstermiştir. Bunlar arasında özellikle yeni yüksek dağlık bölgeler sayılabilir. Yersel fotogrametrinin özellikle dağlarda harita yapımındaki avantajlarını İtalyan askeri coğrafyacılar Ferro ve Paganinni farketmiş ve sistemli olarak yararlanmış ve 1880'de Alpler'de fotogrametrik arazi çalışmaları yapmışlardır.

Yine yüksek dağlara özgü bir durum olan buzullar da S. Finsterwalder tarafından fotogrametriye dahil edilmiştir. 1888 ve 1889'da Vernagt Ferner'in fotoğrafı ve buradan 1:1000 ölçekle yapılan harita ile S. Finsterwalder, modern glasiolojiden ayrı düşünülmeyecek olan fotogrametrik buzul araştırmasını başlatmıştır.

Burada insanın, aynı cisme ait iki düzlem perspektifi, stereoskopik görme olayında uzay modelini birleştirme yeteneğinden faydalanılmaktadır. Bu özellik, C. Pulfrich tarafından stereo-komparatörün çizilmesi ve Carl Zeiss Jena tarafından 1901'de imal edilmesi ile ölçme tekniğine dahil edilmiştir. Ancak böylece fotogrametrinin diğer bütün topoğrafik haritalama yöntemlerinin önüne geçeceği olasılığı ile gerçekleşmemiştir. Her ne kadar plançete fotogrametrisindeki tanıma güçlükleri ortadan kaldırılmışsa da ölçmelerin yapılmasında grafik rekonstrüksiyonu yerine oldukça hesap yapılması gerekirken, nokta nokta değerlendirmeye bir çare bulunamamıştır. Topoğrafik kartografiye esas giriş ise, 1908 yılında Avusturyalı askeri coğrafyacı E.V. Orel'in yaptığı bir mekanik değerlendirme aleti olan stereo-autograph ile mümkün olmuştur. Bu aletin ilk tam fonksiyonlu modeli 1911'de Carl

Zeiss Jena tarafından yapılmıştır. Stereo-autograph, stereo modeldeki tesviye eğrilerinin çizilmesini mümkün kılmıştır.

Bütün çeşitliliği ile yeryüzeyi, ölçme resmine ancak çekim noktası havaya çıktığında açılmıştır. Bu nedenle resim ölçmesi, geniş uygulama alanını hava fotogrametrisinde bulmuştur. Avusturyalı askeri coğrafyacı Th. Schempflug'u 1897'den itibaren hava fotoğrafının düşeye çevrilmesi yani yaklaşık yatay arazinin tek fotoğraflarının ölçeğe uygun olarak plana geçirilmesi temel çalışmalarına sevk eden de hava fotoğraflarının doğrudan doğruya haritaya benzerliği olmuştur. Kanitatif anlamda düşeye çevirme bugün bile fotogrametrinin en geniş yayılmış yöntemidir. Fakat tek bir ölçme resmi arazinin rölyefinin rekonstrüksiyonunu mümkün kılmadığından Scheimpflug 1898'de çift projektör fikri ile uzay değerlendirme aletlerinin temel şeklini deyimlendirmiştir ki, bunların 20 yıl sonra imal edilmesi hava fotogrametrisinin ölçme bilgisinin bütün alanına girmesine zemin hazırlamıştır.

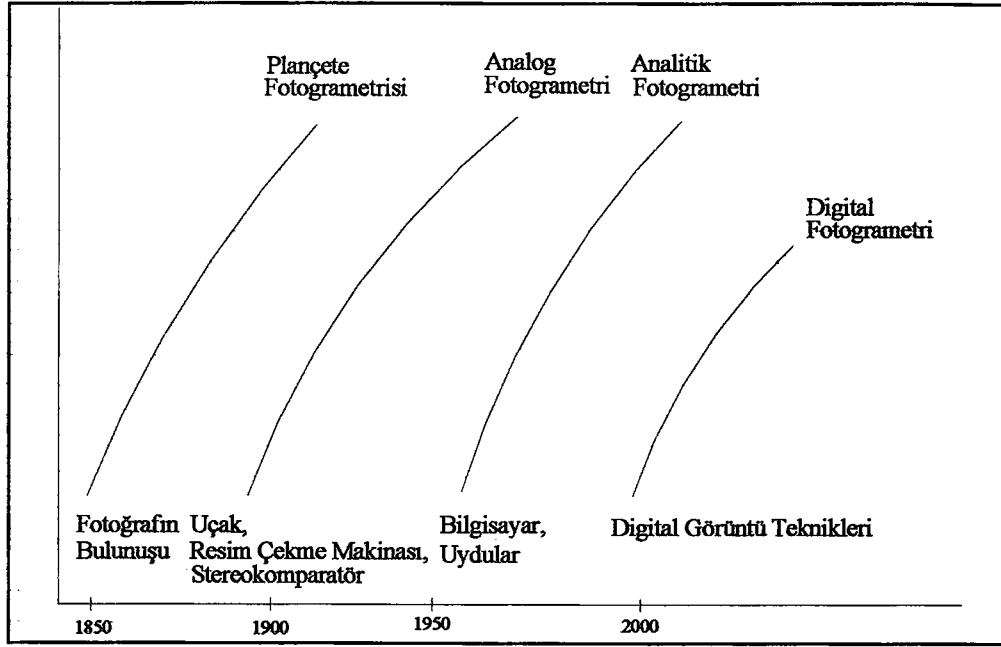
Hava fotoğraflarının sistematik kullanılması ancak I. Dünya Savaşı ile olağanüstü ivme kazanan motorlu uçakların gelişmesiyle ortaya çıkmıştır. O. Messter tarafından 1915 yılında ilk seri ölçme kamerasının imali, fotoğraf alacak uçağın rotasına uygun şerit şeklinde hava fotoğraflarının otomatik olarak çekilmesine imkan vermiştir.

Böylece fotogrametri 120 yıl içinde mütevazî başlangıçtan sonra bugün teknik kültürün bir yapı taşı haline gelmiş olup, yeryüzünde yeni yaşama alanlarının tesbiti ve fotoğrafa alınmasında da ihmal edilemez. Hava fotoğrafları insanlara çevresinin yapısı hakkında çok sayıda bilgi vermiş olup, aynı zamanda uzay yolunu kolaylaştırmak çabasıdadır.

2.1 Tarihsel Gelişimiyle Fotogrametri

Fotogrametri bilimi tarihsel açıdan incelendiğinde dört ana başlık altında toplanmaktadır. (Şekil 1.1)

- Plançete Fotogrametrisi
- Analog Fotogrametri
- Analitik Fotogrametri
- Digital Fotogrametri



Şekil 1.1: Fotogrametrinin Tarihsel Gelişimi

2.1.1 Plançete fotogrametrisi

Yersel fotogrametride kullanım alanı bulmuştur. Kamera ile teodolitlerin birleştiği foto-teodolitler kullanılmıştır.

2.1.2 Analog fotogrametri

Analog kameralarla çekilen fotoğraf çiftlerinin optik mekanik aletlerle yönlendirilerek stereo-modelin oluşturulmasını, değerlendirilmesini ve bu aletlere bağlanmış çizim masaları kullanılarak istenilen ölçekte çizim üretilmesini kapsar. Analog fotogrametride çizgisel ürün ile tek tek arazi noktalarının koordinatları elde edilebilir.

2.1.3 Analitik fotogrametri

Analitik fotogrametride de veri olarak analog resimler kullanılmaktadır. Optik mekanik aletler bilgisayarlarla desteklenmiş ve bu şekilde fotogrametrik hesap başlamıştır. Ayrıca ürün bilgisayarlar da elde edildiğinden, bu ürünlerin bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemlerine aktarılması ve görsel efektler eklenmesi mümkün olmuştur.

2.1.4 Digital fotogrametri

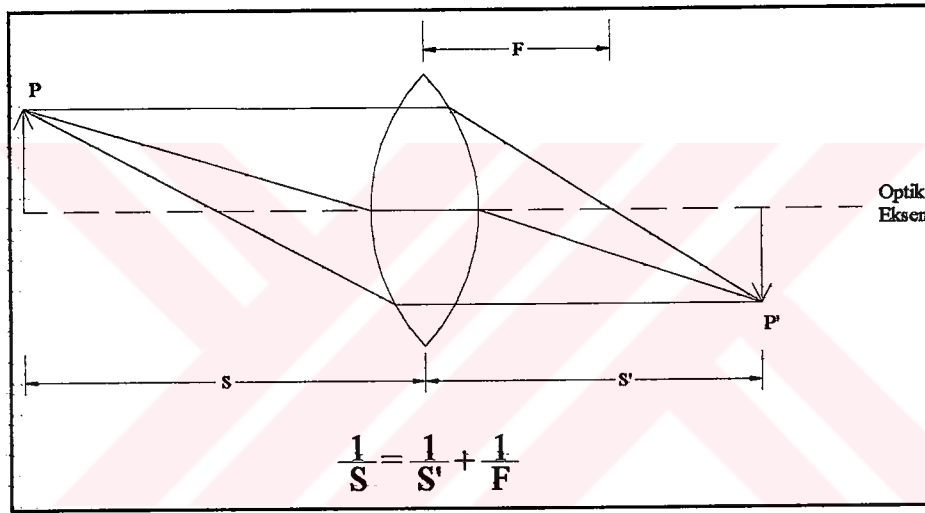
Digital fotogrametride analog resimler yerini artık digital resimlere, daha doğru bir söyleyişle digital görüntülere bırakmıştır. Tüm ölçme ve değerlendirme işlemleri bilgisayar ortamında gerçekleştirilir. Digital kameralar kullanıldığı zaman resim çekme işlemi de bilgisayar ortamında yapılmaktadır. Digital fotogrametrinin kazandırdığı bazı özellikler şunlardır.

- Görüntünün iyileştirilmesi: Görüntü, bilgisayar ortamında kontrast ve ışık şiddeti gibi özelliklerinin değiştirilmesiyle daha anlaşılabilir bir duruma getirilebilir.
- İşlem kolaylığı: Digital fotogrametrik sistemlerde işlemler, analog ve analitik sistemlere göre daha kolay bir şekilde yapılmaktadır. Ayrıca otomatik ölçmelerle de işlemler daha süratli ve hassas şekilde gerçekleştirilebilmektedir.
- CAD sistemleri ile eş zamanlı çalışabilme: Bu özellik, değerlendirme esnasında sonucun da eş zamanlı olarak görüntülenebilmesi ve bu şekilde olası hataların erken farkedilmesi olanağını beraberinde getirmiştir.
- Ürünlerin saklanması: Digital fotogrametrik değerlendirme sonrasında elde edilen ürünler, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda daha güvenli bir şekilde ve daha az mekan kaplayan arşivlerde depolanabilmektedir.

3. FOTOGRAMETRİNİN TEMELLERİ

3.1. Optik Temeller

Fotogrametri optik merkezi izdüşüme dayanır. Optikte doğru yerine ışık ışını yer almaktadır. Herhangi bir P cisim noktasından çıkan ışık ışınları, yolları üzerindeki bir optik düzen sonucunda bir P' noktasında kesişecekleri şekilde yörüngelerinden saptırılacak olurlarsa , bu durumda P cisim noktasının P' izdüşüm noktasına optik olarak izdüşürüldüğünden söz edilebilir.



Şekil 3.1: Optik İzdüşüm

Bu izdüşüm esnasında optik sistemlerde birtakım hatalar meydana gelir. Bu hatalar mercek kusurları adı verilmektedir.[3],[4]

3.1.1. Mercek kusurları

- Renksel Sapınç

Optik izdüşüm sonucunda görüntülerin konumu arka odak düzleminde bulunmayarak farklı görüntüler oluşur. Bu da resimde bulanıklıklara sebep olur. Gidermek için belirli dalga boyundaki ışınları yutup bu ışınların objektife girmelerini engelleyen filtreler kullanılır.

- Küresellik Sapıncı

Merceğe farklı yükseklikten gelen ışınlar farklı küresel eğriliğe sahip yüzeylere çarparak farklı şekilde kırınımına uğrarlar. Bu da bazı ışınların odağın gerisinde bazılarının da odağın ilerisinde kesişmelerine yol açar. Bu kusur imalat esnasında minimuma indirilebilmektedir.

- Astigmatizm

Objektife dar açı altında gelen ışınlar resim düzleminde görüntü oluşturacakları yerde, iki ayrı düzlemde görüntü oluştururlar. Optik sistemde yapılacak düzeltmelerle bu kusur giderilebilir.

- Görüntü Alanının Eğriliği

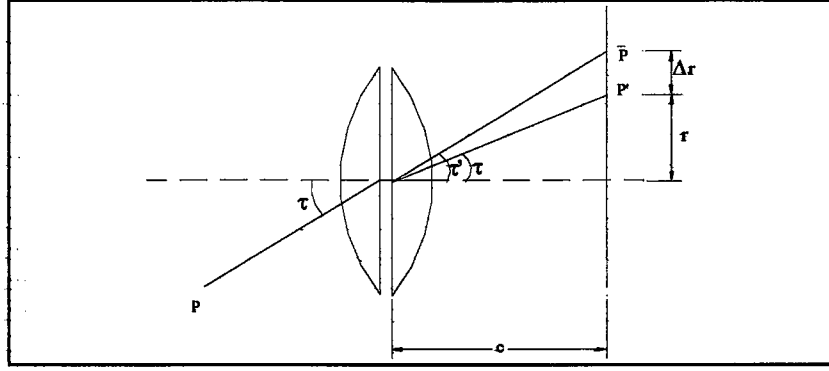
Astigmatizm hatası tek bir yüzeye çevrilse bile bu yüzeyin kamburluğunun giderilmesi mümkün olmamaktadır. Bu da görüntü yüzeyinin eğri olmasına sebep olmaktadır. Bu kusur güçlü mercek sistemleri ile giderilebilmektedir.

- Koma

Objektife geniş açı altında gelen ışık ışınları resimdeki keskinliği ortadan kaldırır. Bu nedenle nokta olarak görünmesi gereken ışınlar virgül veya kuyruk şeklinde görünürler. Bu kusur fazla mercek kullanılmasıyla ortadan kaldırılabilir.

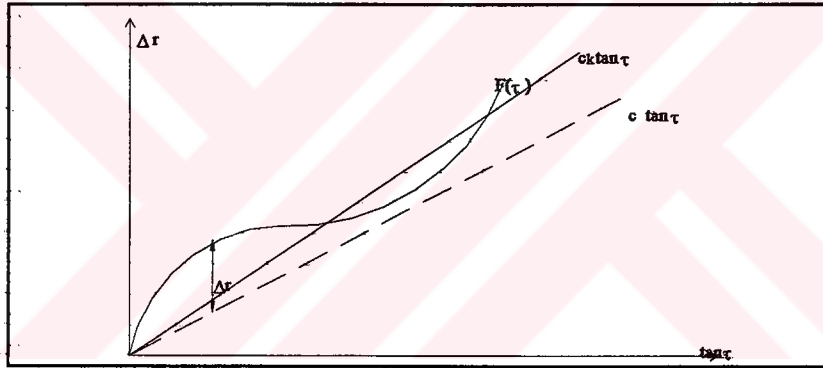
- Distorsiyon

Optik eksene eğik gelen ışınların farklı kırılma indisli yüzeylere gelip farklı biçimde kırılmalarıdır. Bu şekilde görüntüde bir yer değiştirme ve resim düzleminde ölçek değişimi meydana gelir. Bu ölçek değişimi resmin kenarlarına doğru artarsa pozitif, azalırsa negatif distorsiyondan bahsedilir. [3],[4]



Şekil 3.2: Distorsiyon Nedeniyle Öteleme

Burada r , distorsiyonsuz izdüşümü verir ve $r = c \cdot \tan \tau$ ile ifade edilir. Ancak pratikte distorsiyonsuz izdüşüm mümkün değildir. Bu sebeple bir düzlemdeki distorsiyon değerlerinin cebirsel toplamının sıfıra eşit olduğu varsayımına dayanan bir odak uzaklığı hesaplanır ve bu değere kamera sabiti (c_k) adı verilir. Bu odak uzaklığını



Şekil 3.3: Resim Fonksiyonunun Gidişi

elde etmek için Şekil 4'de $c \tan \tau$ eğrisi (çizgili) şekilde gösterilen Δr değerlerinin toplamının sıfır olmasını sağlayan eğim açısı kadar başlangıç noktası etrafında döndürülür. Eğrinin yeni eğimini belirleyen c_k değeri $\Sigma \Delta r = 0$ şartını sağlayan kamera sabitidir.

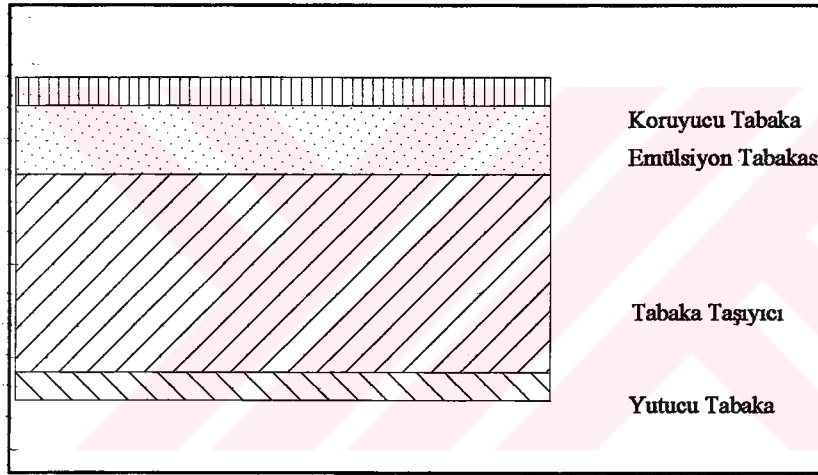
$$\begin{aligned} r' &= F(\tau) = r + \Delta r \\ F(\tau) &= c_k \tan \tau + \Delta r \end{aligned} \quad e_k = \frac{[r']}{[\tan \tau]} \quad (3.1)$$

Burada $F(\tau)$ resim fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır. [3],[4]

3.2. Fotografik Temeller

Fotogrametride verinin resimler olmasından ötürü, fotografik temeller önemli bir yer tutar. İşlenecek verinin kalitesi önemlidir. Bu sebeple amaca uygun resim malzemesinin seçimi gerekmektedir.

Analog film malzemeleri en az iki tabakadan oluşur. Bu tabakalar tabaka taşıyıcı ve emülsiyon tabakasıdır. Emülsiyon tabakası üzerinde genellikle bir koruyucu tabaka bulunur. Ayrıca yansıma ışınının yok edilmesi için bir ara veya arka tabaka ve plan konumu düzeltmesi (yataylandırma) için bir ara tabaka bulunur.



Şekil 3.4: Fotografik Malzemenin Katmanları

Fotogrametrik değerlendirmenin doğru ve hassas yapılabilmesi için bir resimdeki ölçek ve form değişikliklerinin minimum olması gerekmektedir. Fotografik malzemenin deformasyonu, kimyasal maddelere karşı duyarsız ve şeffaf olan tabaka taşıyıcıya bağlıdır.

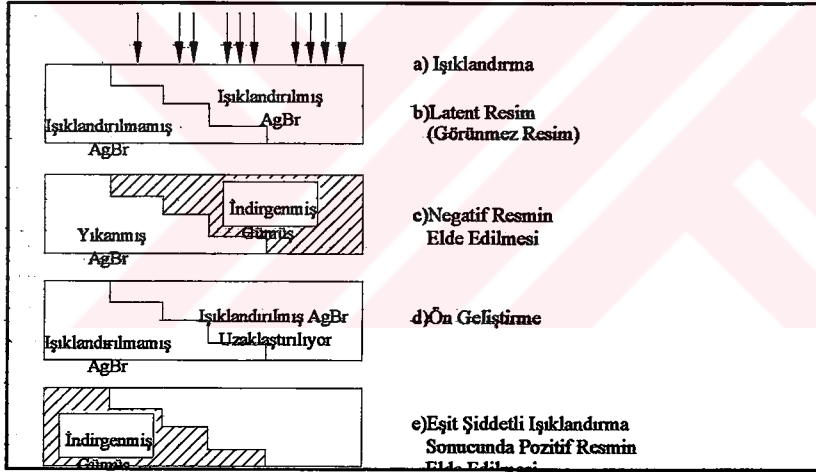
Fotogrametride tabaka taşıyıcı olarak cam plakalar ve filmler kullanılmaktadır. Cam plakalar genellikle yersel çalışmalarda kullanım alanı bulmaktadır.

Emülsiyon tabakası, ışığa duyarlı gümüş bromür daneleri içermektedir. Filmler, içerdikleri gümüş bromür danelerinin büyüklüklerine göre hızlı veya yavaş filmler olarak sınıflandırılır. Emülsiyon tabakasındaki gümüş bromür danelerinin çapları

küçük ise yavaş, büyük ise hızlı filmlerden bahsedilir. Yavaş filmler açık ve güneşli havalarda kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden ötürü hava fotogrametrisinde yavaş filmler kullanılmaktadır. Bunun tersi olarak, hızlı filmler minimum ışık şiddetinde çalışma olanağı sağlar. Bu özelliklerinden ötürü yersel fotogrametride özellikle kapalı bölgelerin fotoğraflarının çekiminde kullanılmaktadır.

Resim çekimi esnasında emülsiyon tabakasındaki gümüş bromür daneleri yutulan ışığa ile çekirdekler şeklinde toplanan gümüş atomlarından oluşur. Resim önce gözükmez. Resmin görülebilmesi için bir dizi işlem gerçekleştirilmelidir.

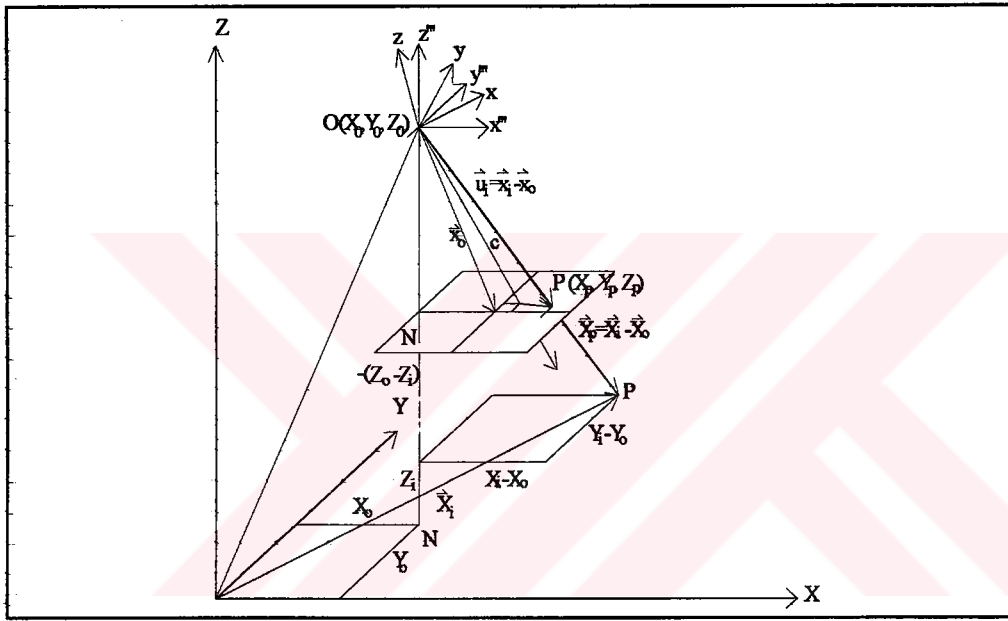
Bu işlemlerden ilki, geliştirme banyosudur. Bu işlemle Gümüş ile Brom atomları birbirinden ayırır. Daha sonraki adım olan tesbit banyosunda ışık almamış gümüş bromür ($AgBr$) daneleri emülsiyon tabakasından çözülür ve uzaklaştırılır. Bu şekilde geriye sadece negatif görüntüyü veren gümüş daneleri kalır. Yıkama ile normal suyun geriye kalan kimyasal maddeleri uzaklaştırması sağlanır. [3],[4]



Şekil 3.5: Siyah-Beyaz Negatifin Elde Edilmesi (a,b,c) ve Siyah-Beyaz Pozitifin Elde Edilmesi (a,b,d,e)

3.3. Matematik Temeller

Fotogrametrinin matematik modeli, merkezi izdüşümün geometrik ve analitik olarak açıklanması şeklinde ifade edilebilir. Merkezi izdüşüm, uzaydaki noktaların bir düzleme bu düzlem dışındaki bir noktadan geçen doğrular ile izdüşümüdür. Burada izdüşüm doğrularının kesiştiği nokta, izdüşüm merkezi olarak ifade edilir.



Şekil 3.6: Merkezi İzdüşümün Fotogrametrik Temsili

Merkezi izdüşümün özellikleri şu şekilde sıralanabilir.

1. Uzayın her P noktasına yalnız bir P' izdüşüm noktası karşılık gelir
2. Her P' izdüşüm noktasına uzayda sonsuz sayıda P noktası karşılık gelir.
3. Uzaydaki her doğruya izdüşüm düzleminde bir doğru karşılık gelir.
4. İzdüşüm düzlemindeki her doğruya uzayda bir düzlem karşılık gelir.

5. Paralel uzay doğruları izdüşürüldüğü zaman bunlar firar noktası olarak ifade edilen bir noktada kesişirler.
6. Uzaydaki doğru ve doğru demetlerindeki çifte oranlar izdüşümde kaybolmazlar.

2. ve 4. özellikler gözönüne alındığında, bir uzay cisminin tek bir izdüşümünden tekrar elde edilemeyeceği açıktır. Bu da fotogrametrinin temel prensiplerinden biridir. Üç boyutlu fotogrametrik değerlendirme için, aynı cismin farklı noktalardan çekilmiş en az iki adet fotoğrafına gereksinim vardır.

Fotogrametride matematik modelin oluşturulmasına temel olan kurallardan biri kolinearite (doğrusallık) koşuludur. Kolinearite koşulu gereği, O izdüşüm merkezi, P cisim noktası ve P' izdüşüm noktası aynı doğru üzerinde bulunmalıdır. Bu ifade vektörel olarak gösterilecek olursa;

$$\vec{X}_{0i} = \vec{X}_i - \vec{X}_0 = \lambda \times \vec{u}_i \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada λ ölçek katsayısıdır. $\vec{u}_i$ vektörü $\vec{X}_i - \vec{X}_0$ vektör farkına eşit olup (x''',y''',z''') koordinat sisteminde gösterimi için dönüşüm yapılması gerekmektedir. Bu dönüşüm;

$$\begin{bmatrix} x''' \\ y''' \\ z''' \end{bmatrix} = \underline{D} \times \begin{bmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \\ -c \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

şeklinde gerçekleşir. Burada $\underline{D}$, dönme matrisidir ve 3×3 boyutundadır.

Bu eşitlik kolinearite koşulunda yerine konulacak olursa;

$$\begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{bmatrix} = \lambda_i \times \underline{D} \times \begin{bmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \\ -c \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

olarak ifade edilir. $\underline{D}$ matrisinin elemanları için

$$\underline{D} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a'_1 \\ a'_2 \\ a'_3 \end{bmatrix} = [a_1 \quad a_2 \quad a_3] \quad (3.5)$$

şeklinde bir gösterim yapılmaktadır. Ölçek faktörünün elemine edilmesi için $X_i - X_0$ ve $Y_i - Y_0$ terimlerinin $Z_i - Z_0$ ile bölünmesi gerekmektedir. Bu şekilde yapılan düzenleme ile

$$\frac{X_i - X_0}{Z_i - Z_0} = \frac{a_{11}x_i + a_{12}x_2 - a_{13}c}{a_{31}x_i + a_{32}x_2 - a_{33}c} \quad (3.6)$$

$$\frac{Y_i - Y_0}{Z_i - Z_0} = \frac{a_{21}x_i + a_{22}x_2 - a_{23}c}{a_{31}x_i + a_{32}x_2 - a_{33}c} \quad (3.7)$$

formülleri elde edilmektedir.

Kolinearite koşulunda eşitliğin sol tarafına resim koordinatları olan x_i ve y_i getirilir ve yukarıda elde edilen temel formüller buna göre düzenlenirse;

$$x_i = \frac{a_{11}(X_i - X_0) + a_{12}(Y_i - Y_0) - a_{13}(Z_i - Z_0)}{a_{31}(X_i - X_0) + a_{32}(Y_i - Y_0) - a_{33}(Z_i - Z_0)} \quad (3.8)$$

$$y_i = \frac{a_{21}(X_i - X_0) + a_{22}(Y_i - Y_0) - a_{23}(Z_i - Z_0)}{a_{31}(X_i - X_0) + a_{32}(Y_i - Y_0) - a_{33}(Z_i - Z_0)} \quad (3.9)$$

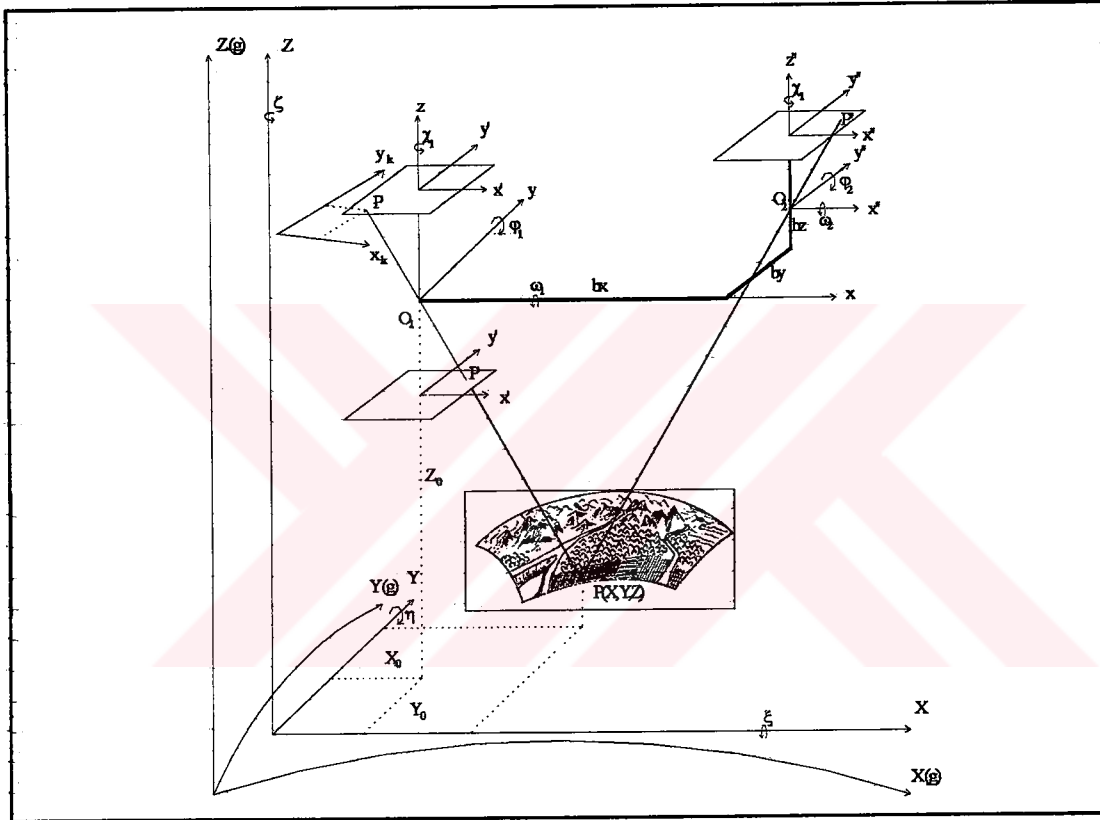
eşitlikleri elde edilir. [3],[4]

3.3.1. Fotogrametride kullanılan koordinat sistemleri

Uluslararası Fotogrametri Birliği'nin (International Society for Photogrammetry) 1960 yılında Londra'da yaptığı kabulle, fotogrametrik çalışmalarda kullanılacak koordinat sistemleri hakkında bir standart oluşturmuştur. Bu açıklamaya göre, fotogrametride kullanılan formül ve türetmeler aşağıda tanımlanan koordinat sistemlerine göre yapılmalıdır.

- a) Model koordinat sistemi, X eksenini pozitif yönü uçuş doğrultusunda, Z eksenini yukarı doğru olan ve sağ el kuralına uyan dik bir XYZ koordinat sistemidir.

- b) Model koordinat sisteminin başlangıç noktasının seçimi serbesttir.
- c) Resim koordinat sistemi, eksenleri model koordinat sistemiyle aynı yönde olan ve sağ el kuralına uyan xyz koordinat sistemidir.
- d) X eksenini primer eksen, Y eksenini sekonder eksenlerdir.
- e) Dönme açıları pozitif yönü, sağ el kuralına uygun olarak saat doğrultusunda yönündedir. [8]



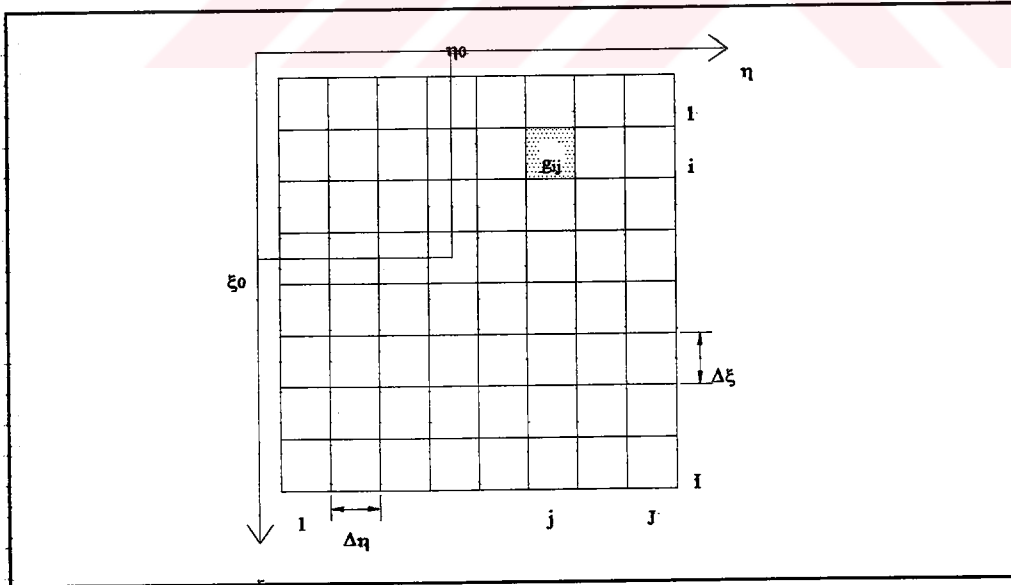
Şekil 3.7.: Fotogramtride Koordinat Sistemleri

4. DİGİTAL GÖRÜNTÜ SİSTEMLERİ

Digital Fotogrametriyi, analog ve analitik fotogrametri sistemlerinden ayıran en büyük özelliği tüm işlemlerin bilgisayar ortamında gerçekleşmesidir. Bu yüzden analog ve analitik sistemlerde kullanılan analog ya da hardcopy resimlerin yerini artık digital görüntüler, diğer bir deyişle softcopy resimler almıştır. Digital fotogrametrinin daha iyi anlaşılabilmesi için digital görüntülerin ve bu görüntülerin özelliklerinin tanımlanması gereklidir.

4.1. Digital Görüntünün Tanımı ve Özellikleri

Digital görüntü, bilgisayar ortamında tanımlanmış iki boyutlu bir matristir. Bu matrisin her elemanı, digital görüntünün en küçük birimi olan bir pikseli ifade eder. Her piksel matris içerisindeki yeri, yani satır ve sütun numarası ile belirtilir. $(I \times J)$ boyutundaki digital bir görüntüyü oluşturan piksellerin satır indisi (i) 0 ile I arasında, sütun indisi (j) ise 0 ile J arasındadır.



Şekil 4.1: Digital Görüntünün Yapısı

Resim, parlaklık değeri veya rengi noktadan noktaya farklılık gösteren düzlemsel bir objedir. Matematiksel olarak resim, (x,y) koordinatlarının bir $f(x,y)$ fonksiyonu olarak adlandırılabilir. Bir (x,y) resim noktasında fonksiyon değeri olarak grilik değeri veya parlaklıktan bahsedilir. Burada x kolon sayısını, y 'de satır sayısını ifade etmektedir. Resim fonksiyonu pozitif tamsayılar ile sınırlıdır.

$$0 \leq f(x,y) \leq f_{\max} \quad (4.1)$$

Bu gösterimde $f_{\max}$ örneğin 8 bitlik bir görüntüde 255 olacaktır.

Eğer renkli bir resimden bahsediliyor ise bu resim üç ayrı fonksiyonu içermektedir. Bunlar resimde bulunan kırmızı ton için $R(x,y)$ fonksiyonu, yeşil ton için $G(x,y)$ fonksiyonu ve mavi ton için $B(x,y)$ fonksiyonlarıdır. Bu şekilde tanımlanmış bir resime genel olarak RGB tonlu resim denilmektedir.

Eğer bir fonksiyon olarak resim fiziksel olarak düşünülürse, $f(x,y)$ fonksiyonu oldukça farklı fiziksel anlamlar da taşımaktadır. Böyle bir durumda yansıma (reflection), soğurma (absorption), sönüklük (extinction) ve geçirgenlik (transmission) gibi fiziksel özelliklerden bahsedilir. [5]

4.2. Digital Görüntünün Kesikli Bir Fonksiyon Olarak Gösterilimi

Bir resmi digital ortamlarda yani bilgisayaralarda gösterebilmek ve gene bilgisayarlarda bu resimler üzerinde işlem yapabilmek için resimleri kesikli bir fonksiyon olarak ifade etmek gerekmektedir. Bu durumda digital bir resim m adet satır ve n adet sütundan oluşan bir matris biçiminde iki boyutlu olarak gösterilecektir. Resim artık sanal ortamda saklandığı ve işlendiğinden ötürü, bundan böyle resim yerine digital görüntü teriminin kullanılması yerinde olacaktır.

Bir digital görüntünün elemanları, $F(x,y)$ fonksiyonunu oluşturan (x,y) kesikli elemanlarıdır ve bunlara piksel adı verilir. Bu eleman her tür digital görüntü için geçerlidir. Yani görüntünün 8 bit veya RGB görüntü olması piksel elemanını etkilemez. Bir pikselin digital bir görüntüdeki koordinatları her zaman pozitifdir ve

$$1 \leq x \leq I$$

$$1 \leq y \leq J$$

değerleri arasında yer alır. Burada I digital bir görüntüdeki sütun ve J'de satır sayısıdır. [5]

4.3. Digital Görüntülerdeki Piksel Komşulukları

Digital bir resimde pikseller üzerinde ileride bilgisayar ortamında işlemler yapılacağından bunların birbirleri ile olan komşulukları önemlidir. Pikseller kuadratik yapıda, hekzagonal yapıda veya rastgele yapıda dizilebilirler.

Kuadratik yapıdaki digital bir resimde pikseller aşağıda açıklanan komşuluklara sahiptirler. [5]

4.3.1. 4'lü komşuluk

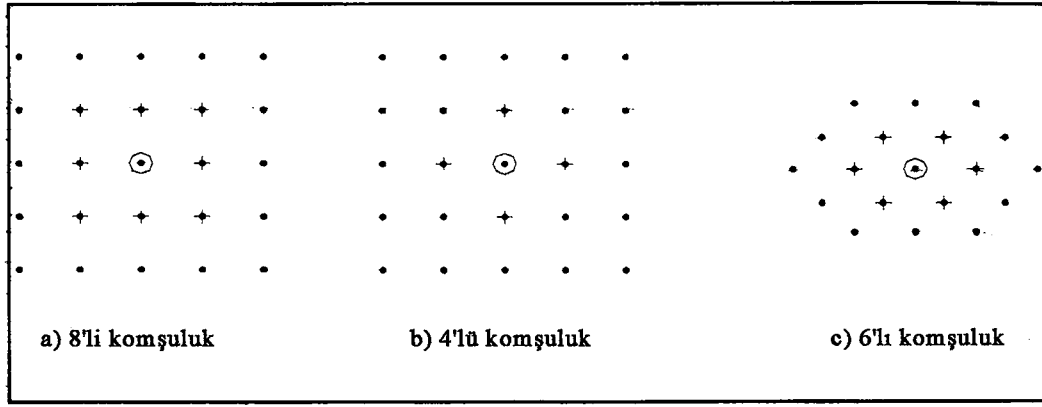
Bu şekildeki komşulukta durulan noktaya üstündeki, altındaki, sağındaki ve solundaki noktalar a piksel büyüklüğü mesafesinde komşudur. Bu komşuluğa katı komşuluk adı da verilmektedir.

4.3.2. 8'li komşuluk

Durulan noktaya üstündeki, altındaki, sağındaki ve solundaki komşu noktalardan başka çapraz konumdaki noktalarda komşudur. Bu komşu noktaların durulan noktaya olan uzaklığı $a\sqrt{2}$ kadardır. Bu komşuluk raster verilerinin işlenmesi çalışmalarında önemlidir. Birçok algoritma bu komşuluk üzerine kurulmuştur.

4.3.3. 6'lı komşuluk

Hekzagonal komşuluğa sahip raster verilerinde de resim noktaları düzenli bir yapıya sahiptir. Bu komşulukta her noktaya kendisinden raster verideki en küçük uzunluk birimi olan a kadar mesafede 6 adet nokta komşudur. Bu noktalar durulan nokta ile $+60^\circ$ ve -60° açı altında komşudurlar. Bu komşuluk özellikle enformasyon tekniğinde kullanılmaktadır. Dezavantajı tam düşey çizgilerin zikzaklı bir şekilde temsil edilebilmesidir.

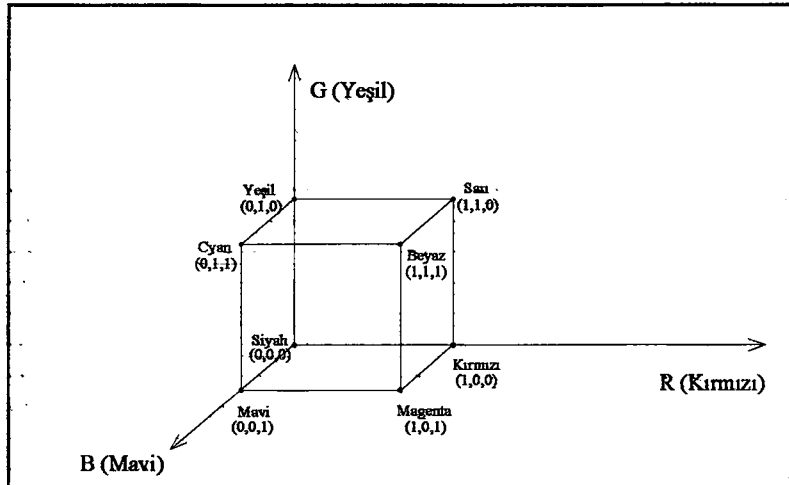


Şekil 4.2: Digital Görüntülerde Komşuluklar

Digital görüntülerdeki pikseller bilgi taşıyıcı durumundadır. Taşıdıkları bilgi ise renktir. Piksellerin taşıdıkları renk değerleri, kullanılan kayıt elemanına ve işlemcilerle bağlıdır. Renk, piksellerde sayısal değerler olarak ifade edilir. Genellikle bu renk değeri 0 ile 255 arasındadır. Yani bir piksel 256 farklı değer alabilir. Bu 8 bitlik görüntüyü deyimler.

Siyah-beyaz bir görüntü için pikseller gri renk tonu ya da gri renk yoğunluğu bilgisini taşırlar. Genellikle siyah için 0, beyaz için 255 sayısal değerleri kullanılmaktadır.

Renkli görüntüler içinse durum biraz farklıdır. Her pikselde kırmızı, yeşil ve mavi renkler için 0 ile 255 arasında sayısal değer kullanılır. Bu üç renk tonunun değişik kombinasyonları için 16 milyondan fazla farklı renk elde edilir. Bu da 24 bitlik RGB görüntü veya True Color görüntüyü ifade eder. [6]



Şekil 4.3: Digital Görüntü Sistemleri için Birim Renk Kubü

4.4. Digital Görüntülerin Kalitesi

Digital görüntülerin kalitesine ilişkin sorular optik biliminin temel problemlerinde biri olarak ifade edilmektedir. Görüntü kalitesi, fotogrametrik metrik kameralar için de bir sınıflandırma niteliği haline gelmiştir. Işık şiddeti, astigmatizm ya da cismin spektral özellikleri görüntü kalitesinin bileşenleri olsa bile, fotogrametri için görüntü kalitesinde en önemli parametre çözünürlük olarak ifade edilmektedir. Çözünürlük, optik sistemin sınır frekans değerini, diğer bir deyişle görüntü üzerinde tek başına ayırt edilebilen en küçük birimin boyutunu deyimler.

Digital görüntülerde ayırt edilebilen en küçük birim pikseldir. Piksel boyutu digital bir görüntünün kalitesindeki en önemli parametredir. Küçük piksel boyutuna sahip görüntülerde detay ayırt etme yeteneği daha yüksek olduğundan çözünürlük de yüksektir. Diğer bir deyişle piksel boyutu ne kadar küçülürse, görüntünün çözünürlüğü ve dolayısıyla kalitesi de o kadar artacaktır.

Görüntüler, içerdikleri bilgilerin rastgele değişimi sebebiyle istatistiksel olarak da incelenmektedir. Resim fonksiyonlarının stokastik bir yapıda olması zaman zaman avantajlı bir durumdur. Görüntülerde kalite artırılması, birtakım stokastik dağılımlar ve korelasyon fonksiyonları ile mümkündür.

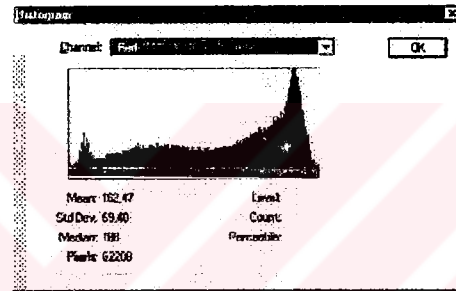
Bir görüntüdeki tüm pikseller için birinci dereceden yoğunluk fonksiyonu $p_1(x,y,z)$ olarak ifade edilebilir. Burada (x,y) değişkenleri piksellerin konumunu, z değişkeni ise parlaklık değeridir. Piksellerin konumları gözardı edilir ve yoğunluk fonksiyonu $p_1(z)$ olarak oluşturulursa, söz konusu görüntü için parlaklık histogramı elde edilmiş olur.

Bunun yanında, renkli görüntüler için z parlaklık değerinin yerini RGB renk değerleri alacağından, bu tip görüntülerde her renk tonu için ayrı bir histogram söz konusu olacaktır.

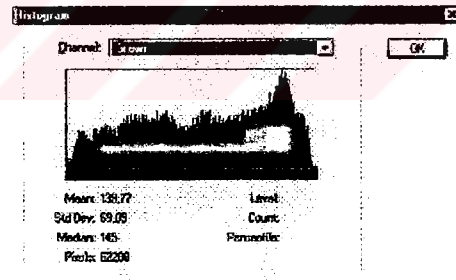
Histogram, sütunlu grafik olarak gösterilir. Aşağıda gri renk tonlu bir görüntü, aynı görüntünün RGB tonlu gösterimi ve bu görüntülere ait histogramlar görülmektedir.



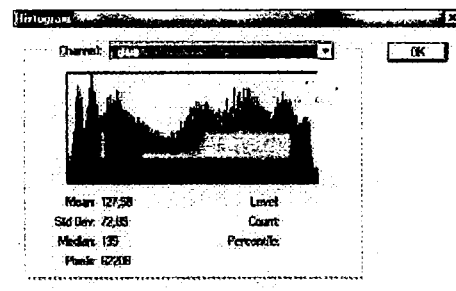
a) RGB Tonlu (24 bit) Digital Görüntü



b) Histogram (Kırmızı Kanal)

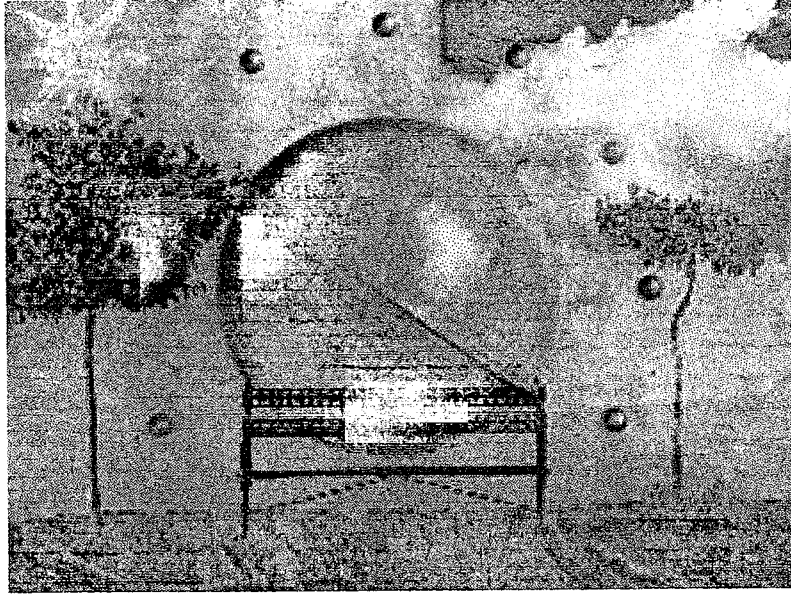


c) Histogram (Yeşil Kanal)

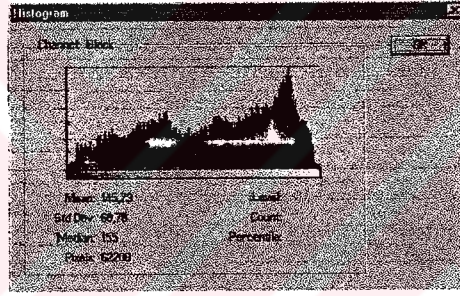


d) Histogram (Mavi Kanal)

Şekil 4.4: RGB Tonlu Digital Görüntü ve Renk Kanallarına Göre Histogramları (Adobe Photoshop 4.0)



a) Gri Tonlu (8 bit) Digital Görüntü



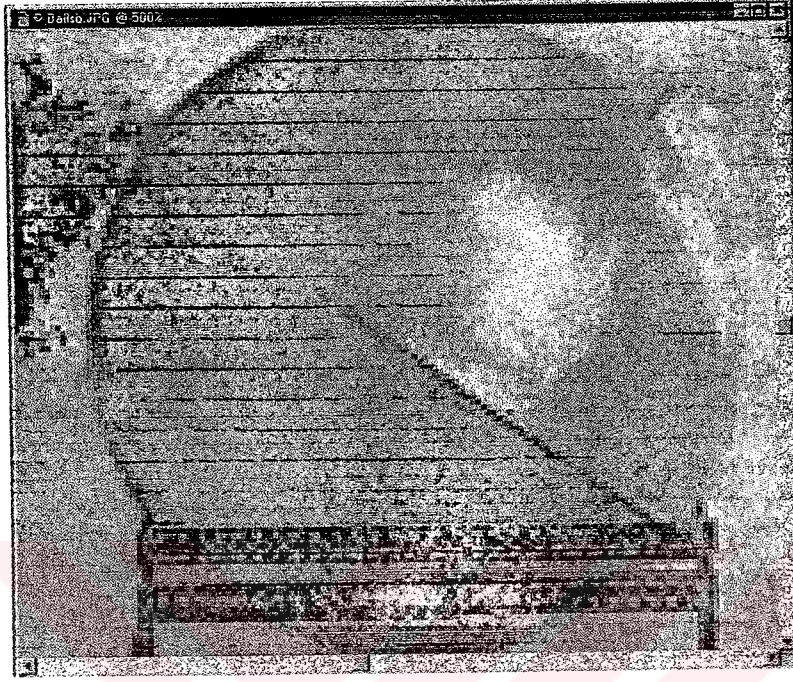
b) Histogram (Gri Tonlu Değeri)

Şekil 4.5: Gri Tonlu Digital Görüntü ve Histogramı (Adobe Photoshop 4.0)

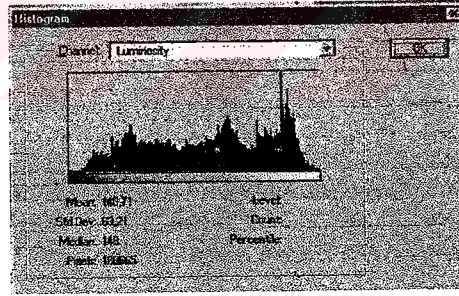
Digital görüntülerde, görüntü kalitesini etkileyen en önemli etkenlerden biri de noise adı verilen ve aynı grilik değerine sahip olması gereken bölgelerdeki farklı grilik veya RGB değerleridir. Noise, digital görüntülerde düzensiz hata olarak ifade edilir. Bu hata digital görüntünün elde edilmesinde, naklinde veya işlenmesinde oluşabilir. Ayrıca bu hatalar görüntünün içeriğinden bağımlı ya da bağımsız olabilir.

Noise hatasından etkilenmiş bir görüntünün histogramı, normal dağılımdan uzaklaşmaktadır. Bu ifadenin tersi olarak noise hatasından etkilenmiş bir görüntü, histogramının normal dağılıma uydurulması yolu ile bu hatadan arındırılabilir. [6]

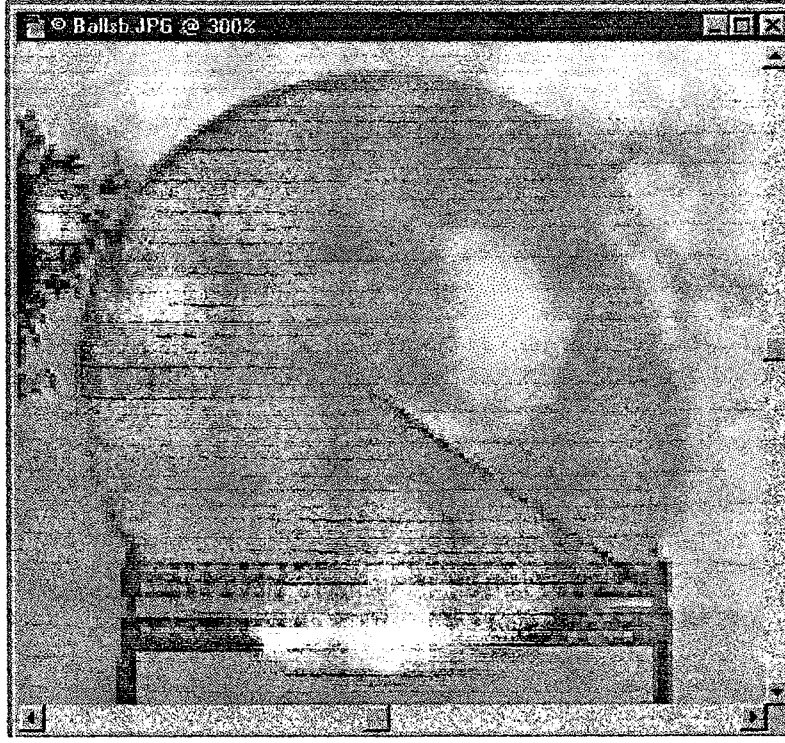
Bu konuya ilişkin bir örnek yukarıdaki görüntüden alınan yakın görüntü ile daha da iyi anlaşılabilir.



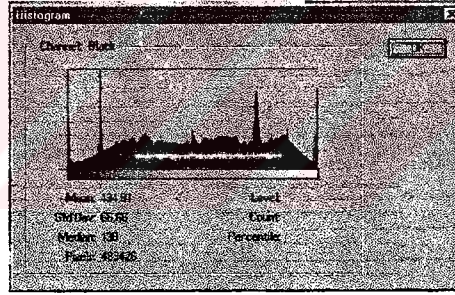
Şekil 4.6 a) Noise Hatası Giderilmemiş Gri Tonlu Digital Görüntü



Şekil 4.6 b) Bu Görüntüye Ait Histogram (Adobe Photoshop 4.0)



Şekil 4.7 a) Noise Hatası Giderilmiş Digital Bir Görüntü



Şekil 4.7 b) Bu Görüntüye Ait Histogram (Adobe Photoshop 4.0)

Noise hatasından etkilenmiş görüntü ve aynı görüntünün bu hata giderildikten sonraki görünüşleri dikkatle incelenecek olursa, ilk görüntüde aynı grilik değerine sahip olması beklenen alanlarda, noise sebebiyle farklı grilik değerlerine sahip piksellerin varlığı anlaşılabilmektedir. Ayrıca her iki görüntünün histogramlarına incelenecek olursa, ikinci görüntünün histogramının normal dağılıma daha yakın bir karakterde olduğu görülmektedir. Ancak ikinci görüntünün histogramı tam olarak normal dağılıma uygun değildir. Bunun sebebi ise görüntü içeriğindeki grilik değerleridir.

4.5. Digital Görüntü Elde Etme Yöntemleri

Digital görüntülerin elde edilmesi, Digital fotogrametrik uygulamaların en önemli adımlarından biridir. Gerekli hassasiyet gösterilmediği takdirde presizyon ve ekonomi yönünden olumsuzluklar doğar. Bu sebeple uygulamanın konusuna ve teknik özelliklerine göre optimum çözüm bulunmalı ve uygulanmalıdır.

Digital görüntülerin elde edilmesi günümüz teknolojisinde iki şekilde yapılmaktadır. Bunlardan ilki, doğrudan digital görüntü alan kameraların kullanılması, diğeri analog kameralarla çekilen resimlerin optik tarayıcılar (scanner) kullanılarak digital sistemlere aktarılmasıdır.

4.5.1. Digital kameralar

CCD (Charge- Coupled Device) kameralar 1960'ların sonlarında Bell laboratuvarlarında geliştirilmiştir. İlk başta bilgisayar hafızasının yeni ve karmaşık yapıda bir kullanımı olarak gözükmüş olsa bile, daha sonraları silikonun ince duyarlılığından ötürü CCD teknolojisinin digital görüntüler üzerine geniş bir uygulama alanı bulduğu açıktır.

CCD ince silikon tabakaları üzerinde birçok fonksiyonu bilgisayar hafızasında ardışık işlemler tanımlamaya başlamıştır. Her silikon tabakasında özdeş matrisler oluşmakta ve daha sonra bu matristen seçilen parçalar silikon tabakasından ayrılarak kullanım için taşıyıcı sistemlere aktarılmaktadır.

CCD sensörü bir arabadaki motor gibi, digital kamera yapısı içerisinde görüntü elde etmek için temel parça olarak işlem yapmaktadır. En basit anlatımla CCD sensörü kameranın ışığı algılayarak elektronik pulse'lara çeviren ve bu pulse'lardan digital görüntüyü oluşturan "elektronik göz" olarak ifade edilir.

CCD teknolojisini daha iyi anlayabilmek için CCD sensörü tarafından görüntü elde etme metodları ve bunların pratik uygulamalarından bahsedilmektedir.

4.5.1.1 Alansal düzen

Hareketli nesneleri bir izdüşüm merkezinden herhangi bir pozlama süresinde görüntüsünün alınmasını sağlar.

4.5.1.2 Doğrusal düzen

Görüntüyü tek bir piksel sırasında dikey olarak tarayan ve herbir kırmızı, yeşil ve mavi filtre içeren üş ayrı izdüşümünün oluşturulmasını sağlar. Adından da anlaşılacağı gibi doğrusal sensörler tek boyutlu görüntüleri oluşturabilir. Doğrusal düzene sahip CCD sensörler hareketsiz nesnelerin görüntülerini elde edebilmektedir. Burada önemli olan, hareketsiz objelerin sürekli ışıklandırılmış olmasıdır.

4.5.1.3 Üçlü doğrusal düzen

Üçlü doğrusal düzendeki CCD sensörler, ayrı ayrı RGB filtreleriyle donatılmış üç tane paralel doğrusal düzenden oluşur. Renkli görüntü elde edilmesi esnasında görüntünün tamamı ardışık sıraların birleştirilmesiyle oluşur. Bu düzendeki yapılar gerçek renkli görüntünün elde edilmesi için kullanılan yüksek çözünürlüklü digital kameralarda kullanılmaktadır.

4.5.1.4 Interline transfer

Bu düzene sahip sensörler farklı sıradaki görüntü elde etme ve transfer tekniğini kullanır. Bir görüntü okunurken diğer görüntünün elde edilmesine olanak sağlar. Bu düzendeki sensörler düşük frekanslı digital kameralarda, video kameralarda ve canlı yayın kameralarında kullanılmaktadır.

4.5.1.5 Full frame

Dinamik görüntüleme, azaltılmış noise ve optik çözünürlüğün homojen dağıtımını sağlar. Full frame CCD sensörler paralel CCD kayıt ünitesi, seri CCD kayıt ünitesi ve signal algılayıcı çıkış yükselticisinde oluşur. Full frame CCD sensörde izdüşüm, görüntünün bütünlüğünü korumak için mekanik deklanşörle kontrol edilir. Bunun nedeni paralel kayıt ünitesinin hem görüntünün algılanması hem de okunması için kullanılıyor olmasıdır. [6]

Görüntüler resim düzlemi olarak ifade edilen matrise izdüşürülür. Elektronik ünite görüntü içeriğini alır ve bunları kesikli elemanlara böler. İşlemin bu aşamasından sonra digital görüntülerde en küçük eleman olarak ifade edilen pikseller oluşur. Elde edilen bilgi satırları paralel bir düzen içerisinde görüntü bilgisini sürekli data

bilgisine dönüştüren seri kayıt ünitesine aktarır. Bu işlem bütün satırlar chip dışına aktarılınca kadar devam eder. Daha sonra görüntü, işlenecek sistem tarafından tekrar oluşturulur.

CCD sensörlerin görüntü elde etme işlemi aşağıda adım adım anlatılmıştır.

1. Deklanşör açılır ve CCD sensör ışık alır.
2. CCD sensör tarafından algılanan ışık gene bu sensör tarafından elektrik yüküne dönüştürülür.
3. Deklanşör kapanır ve ışık kesilir.
4. Elektrik yükü CCD çıkış ünitesine iletilir ve pulse'lara dönüştürülür.
5. Pulse'lar konumlandırılır ve bellekte digital görüntü oluşturulur.
6. Elde edilen digital görüntü işlenir ve kamera üzerindeki LCD ekranda veya bilgisayarda görüntülenir.

CCD teknolojinin önemli özelliklerinden biri de ışığın elektronik yüklere çevrilmesidir. Görüntü, sözkonusu nesneden yansıyan ışık fotonlarının piksel alanına düşmesi sonucu elde edilir. Fotonlardaki enerji silikon tarafından soğrulur ve elektronik yük (örneğin elektron) oluşumunu sağlayan reaksiyon meydana gelir. Her pikselde toplanan elektronların sayısı ışık şiddeti ve pozlama süresi ile lineer bağımlı ancak dalga uzunluğu ile non-lineer bağımlıdır.

Aşağıdaki tabloda bazı yapımcı firmaların ürettikleri digital kameraların radyometrik ve uzaysal çözünürlükleri karşılaştırılmıştır.

	Kodak DCS 560	Kodak DCS 460	Rollei Digital Chip Pack
Çözünürlük (piksel)	3040 x 2008	3060 x 2036	2048 x 2048
Renk Derinliği	12 bit	12 bit	24 bit

Tablo 4.1: Bazı Digital Kameraların Karşılaştırılması

4.5.2 Tarayıcılar

Digital görüntü elde etme yöntemlerinden bir diğeri de analog resimlerin taranmasıdır. Bu şekilde elde edilen digital görüntüler CCD kameralar kullanılarak elde edilmiş digital görüntülerden daha yüksek çözünürlüğe sahiptirler. Ancak görüntü elde etme işlemi digital kameralara göre daha zahmetli olmakla birlikte daha uzun sürmektedir.

Tarama sırasında bilgi kaybı olmaması için tarama çözünürlüğüne dikkat edilmelidir. Bu amaçla fotoğraf çözünürlüğü (R) kullanılır. Bu değer milimetredeki çift çizgi sayısı (lp/mm) olarak ifade edilir. Tarama aralığı

$$D[\text{mm}] = \frac{1}{(2.R)} \quad (4.2)$$

formülü ile hesaplanır. Pratikte 1 yerine 0.7 kullanılmaktadır. Bu durumda

$$D[\text{mm}] = \frac{0,7}{(2.R)} \quad (4.3)$$

olur.

Mevcut teknolojiye tarayıcılar için 3 farklı çeşit bulunmaktadır. Bunlar;

1. Tek Algılayıcılar: Çizgisel hatlar şeklinde fotoğrafları tarar.
2. Algılama satırı: Fotoğrafları şeritler halinde tarar.
3. Kare algılama matrisi: Bir anda fotoğrafın bir bölgesini tarar. Daha sonra bu parçaları birleştirir. [2]

Kullanılacak tarayıcının sahip olması gereken özellikler taranacak dokümana ve uygulamanın özelliklerine bağlıdır. Örneğin hava fotoğraflarının taranmasında kullanılacak bir tarayıcı 25 x 25 cm tarama alanına sahip olmalı, 600 ile 1200 dpi arasında uzaysal çözünürlüğünün olması, 2 - 5 µm geometrik doğrulukla çalışması ve 10 – 12 bit radyometrik çözünürlüğe sahip olması gereklidir. Haritalar ve planlar için ise bunların dışında opak tarama, geniş tarama alanı (A1) gibi birtakım özellikler gereklidir.

5. FOTOGRAMETRİDE OTOMASYON

Gelişen bilgisayar teknolojisi, fotogrametride birtakım işlemleri otomatik olarak yapılmasını sağlamıştır. Öncelikle iç yöneltmenin otomatik olarak yapılması sağlanmış, daha sonra bu özellik dış yöneltme esnasında da kullanılmıştır. Dijital bir görüntüyü oluşturan elemanlar düşünüldüğünde, üç boyutlu değerlendirme esnasında da otomatik ya da yarı otomatik ölçme işleminin kullanılması mümkündür. Ancak üç boyutlu değerlendirme esnasında otomatik ölçmenin doğruluğunun yeterli olması için kullanılan dijital görüntülerin bazı özelliklere sahip olması gereklidir. Bu hususlar daha ileride anlatılacaktır.

Dijital görüntülerin yapı taşları piksellerdir. Her piksel görüntünün oluşturulmasında önemli olan renk değeri ve konum bilgisini ihtiva eder. Bu şekilde tüm piksellerin içerdikleri bilgiler işlemciler tarafından okunarak sözkonusu dijital görüntü oluşturulur.

Otomatik ölçme işlemi için dijital görüntüyü oluşturan piksellerin konumları ve taşıdıkları renk değeri bilgisi oldukça önemlidir. İç yöneltme ve dış yöneltmede yapılacak olan otomatik ölçme işlemi için belirli bir bölgedeki piksellerin birbirine göre olan konumları ve taşıdıkları renk değeri bilgileri kullanılmaktadır. Üç boyutlu değerlendirmede ise her pikselin kendine komşu olan piksellerin taşıdıkları renk ve konum bilgisi, diğer bir deyişle piksel komşulukları ön plana çıkmaktadır. Her iki farklı uygulamada kullanılan temel mantık aynı gibi görünmesine rağmen birbirinden özellikle konum bilgisinin kullanılması açısından farklılıklar içermektedir.

5.1 İç Yöneltme

İç yöneltme, kısaca resmin kameraya göre olan konumunun belirlenmesidir. x_0 , y_0 ve c iç yöneltme elemanları olarak ifade edilir. Burada x_0 ve y_0 resim ana noktasının resim orta noktasına göre olan koordinatları, c ise kamera sabitidir.

İç yöneltme ile orta nokta bulucuları kullanılarak görüntü üzerinde bir koordinat sistemi tanımlanır. Bu sistem aynı kamera ile çekilen her resim için aynıdır.

Bu işlemin otomatik olarak yapılması ise resim orta nokta bulucularının geometrik şekline bağlıdır. Orta nokta bulucu olarak sisteme tanıtılan geometrik şekil, renk değerleri kullanılarak sisteme gösterilen arama bölgesi içerisinde aranır. Burada gerçekte bilgisayar tarafından yapılan işlem, matrisler arasındaki korelasyon katsayısını hesaplayıp, en yüksek korelasyon katsayısını hesapladığı bölgede orta nokta bulucunun konumunun belirlemektir.

Aşağıda örnek olarak 7 x 7 boyutunda tanımlanmış hedef matris, diğer bir deyişle orta nokta bulucunun geometrik şekli ve bu geometrik şeklin görüntü üzerinde yer aldığı muhtemel bölgeyi ifade eden arama matrisi ve aralarındaki korelasyon katsayısının hesaplanmasında kullanılan denklemler gösterilmiştir.

1	1	1	9	1	1	1
1	1	1	9	1	1	1
1	1	1	9	1	1	1
1	9	9	9	9	9	1
1	1	1	9	1	1	1
1	1	1	9	1	1	1
1	1	1	9	1	1	1

Şekil 5.1 a): Hedef matris

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1
1	1	2	1	2	9	3	1	2	1	1	1
1	2	2	3	3	9	3	1	1	1	1	1
1	3	3	2	4	9	3	2	2	3	1	1
1	2	9	9	9	9	9	9	8	3	1	1
1	2	2	2	3	9	2	3	2	2	1	1
1	1	1	1	3	9	3	1	1	1	1	1
1	1	1	1	3	9	3	1	1	1	1	1
1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1

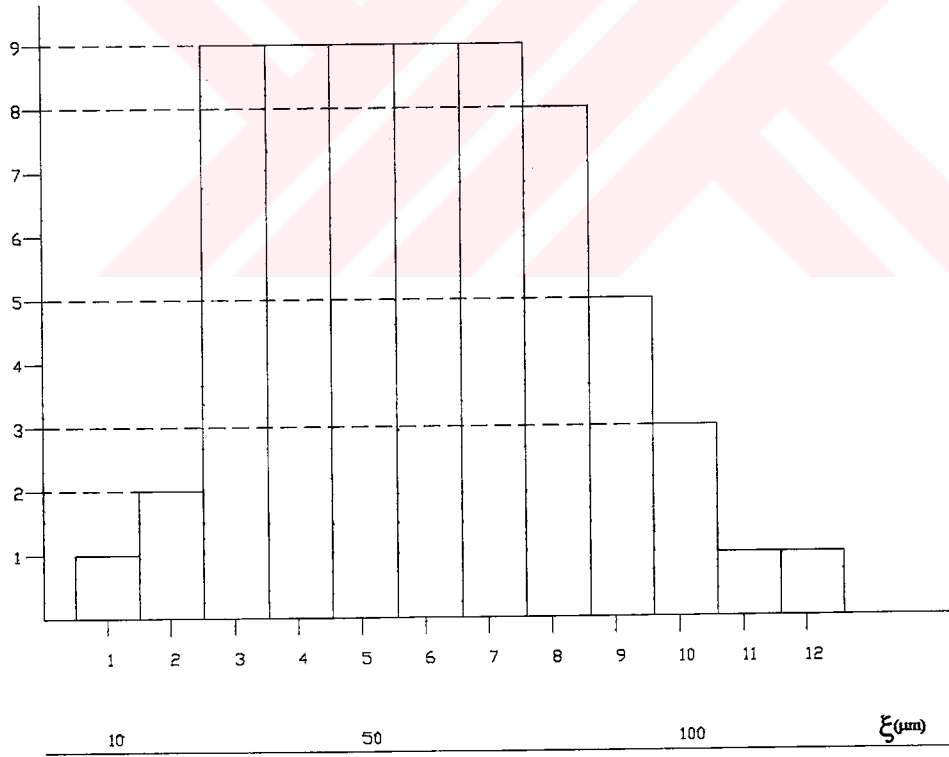
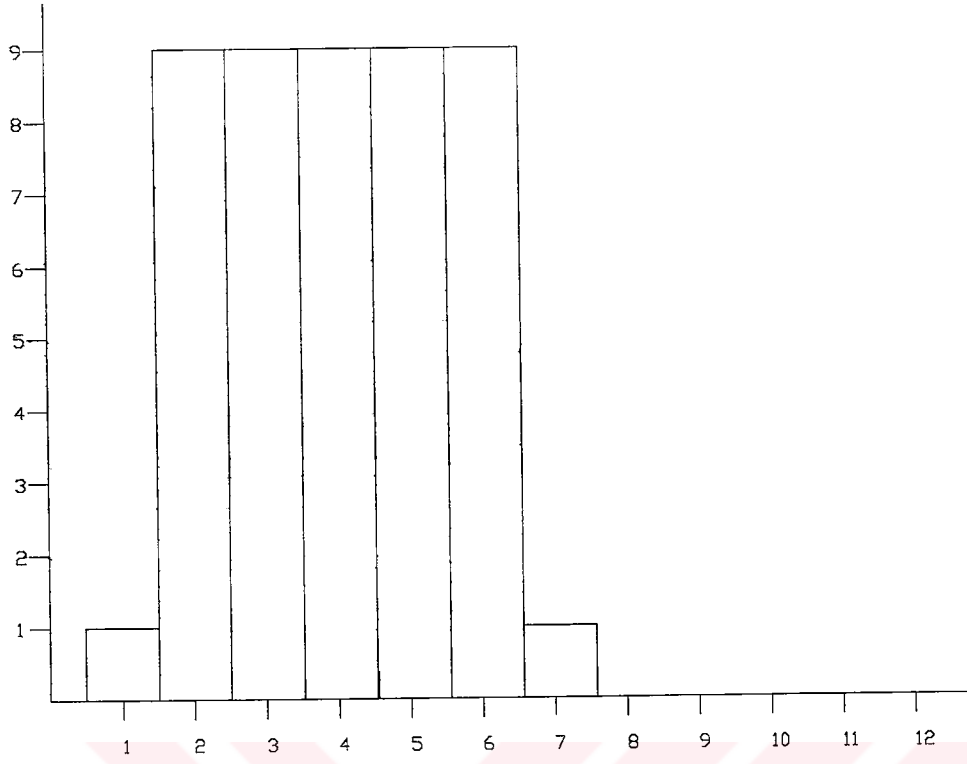
Şekil 5.1 b): Arama matrisi

Tanımlanmış olan hedef matris ile arama matrisi içerisinde aynı boyuttaki her alt matris arasında bir korelasyon katsayısı hesaplanır. Bu korelasyon katsayısının hesaplanmasında

$$r = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1 \sigma_2} = \frac{\sum (g_1 - \bar{g}_1)(g_2 - \bar{g}_2)}{\sqrt{\sum (g_1 - \bar{g}_1)^2 \sum (g_2 - \bar{g}_2)^2}} \quad (5.1)$$

formülü kullanılır. Burada g_1 ve g_2 ile ifade edilen büyüklükler hedef matriste ve hedef matrisin arama matrisinde karşılık geldiği alandaki renk değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

Otomatik aramanın grafik gösterimi için yukarıdaki hedef ve arama matrislerinin tek boyutlu ifadeleri kullanılmıştır. [4]



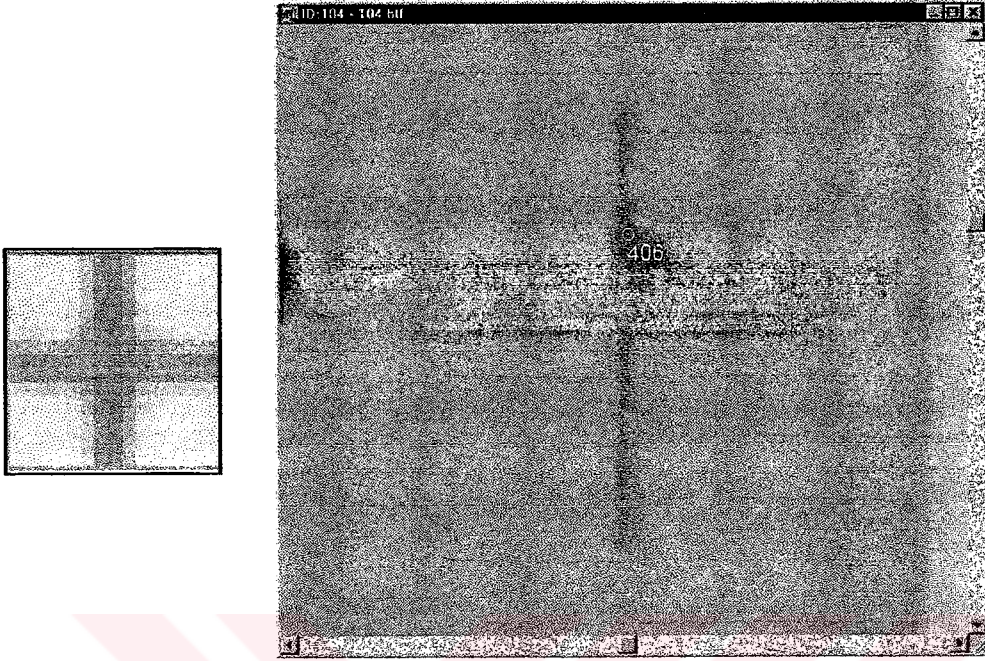
Şekil 5.2 : Şekil 5.1 a) ve b)'de Gösterilen Hedef ve Arama Matrislerinin Grafik Gösterilimi

Yukarıdaki algoritma kullanılarak yapılan bir iç yöneltme işlemi tam otomatik olmayacaktır. Tam otomatik iç yöneltme işleminde her orta nokta bulucu için arama matrisinin program tarafından belirlenmesi beklenir. Ancak yukarıda anlatılan şekilde yapılacak olan bir iç yöneltme işlemi için her orta nokta bulucu için arama matrisinin kullanıcı tarafından sisteme belirtilmesi gerekmektedir.

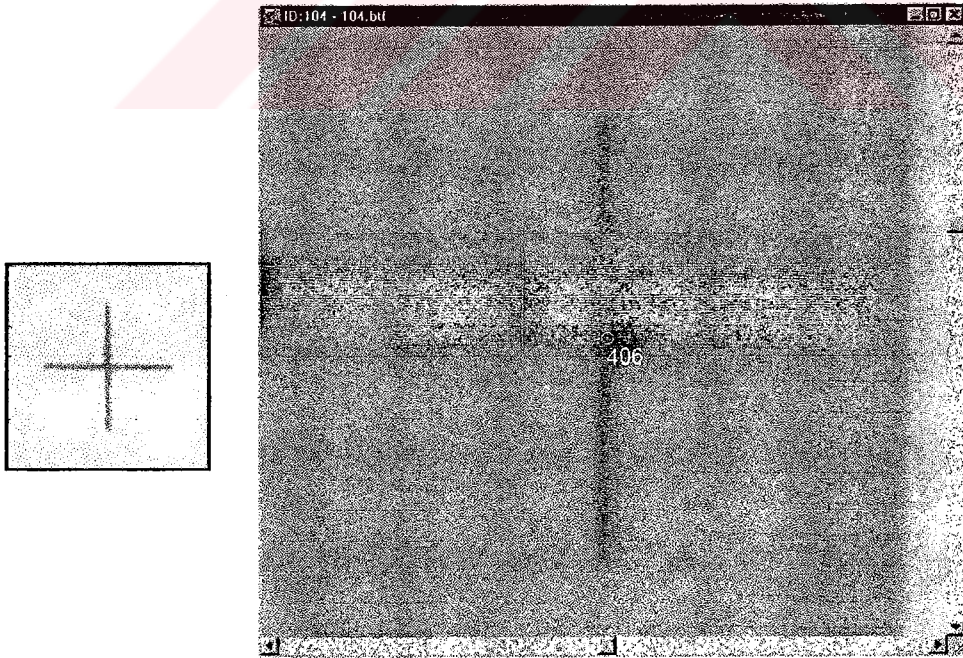
Tam otomatik iç yöneltme işlemi için resim üzerindeki koordinat sisteminin program içerisinde ifade edilmesi gerekmektedir. Bu işlem için manuel olarak ölçülecek en az iki orta nokta bulucu yeterli olacaktır. Bu iki orta nokta bulucusunun kamera bilgilerinden alınacak olan koordinatları ve ölçülen koordinatları, sistemin diğer orta nokta bulucularının görüntü üzerindeki yerlerini yaklaşık olarak belirlemesini sağlayacaktır. Diğer bir deyişle sistem arama matrisinin görüntü üzerindeki konumunu otomatik olarak belirleyecek ve daha sonra da hedef matrisi bu arama matrisi içerisinde arayarak orta nokta bulucunun konumunu görüntü üzerinde belirleyecektir.

Otomatik iç yöneltmede dikkat edilmesi gereken konu hedef matrisinin boyutudur. Hedef matrisinin seçimi iç yöneltme esnasında önemli sayılabilecek hatalara neden olabilir. Hedef matris küçük seçildiğinde kullanılan algoritma orta nokta bulucu yerine orta nokta bulucunun geometrisine yakın olan ve yaklaşık olarak görüntü üzerinde aynı bölgeye rastgelen bir objeyi orta nokta bulucu olarak algılayıp, bu noktayı ölçebilir. Bu sebeple hedef matrisi seçilirken orta nokta bulucuyu tam olarak bu matrisin içerisinde konumlandırmak önemli bir konudur. Buna karşılık olarak büyük hedef matrisleri kullanılarak yapılan tam otomatik iç yöneltme işleminde matematiksel işlemler artacağından program akışı yavaşlayacaktır. Hedef matris seçiminde bu iki konuya azami özen gösterilmeli ve optimum hedef matris boyutu belirlenmelidir. Bu şekilde özellikle yüksek görüntü sayısının sözkonusu olduğu çalışmalarda zaman tasarrufu da sağlanacaktır.

Hedef matrisinin gereğinden küçük seçilmesi durumunda karşılaşılabilecek hatalı ölçmelere aşağıda bir örnek verilmiştir.



Şekil 5.3.: Tamamı Hedef Matris İçerisinde Tanımlanmamış Reseau Noktası ve Otomatik İç Yöneltilmede Karşılaşılan Hatalı Ölçme



Şekil 5.4.: Tamamı Hedef Matris İçerisinde Tanımlanmış Reseau Noktası ve Otomatik İç Yöneltilmede Elde Edilen Doğru Sonuç

5.2 Dış Yöneltilme

Dış yöneltilme adımında tam otomatik nokta ölçümünden yararlanmak mümkün değildir. Bunun nedeni ise görüntü üzerinde ölçülmesi gereken noktaların yer kontrol noktaları olması ve bu yer kontrol noktalarının genellikle üç boyutlu cisim uzayında dağılmış olmasıdır. Bunun sonucu olarak, cisim koordinat sisteminin ve görüntüyü oluşturan objelerin bu koordinat sistemi içerisindeki konumlarının programa herhangi bir şekilde tanıtılması oldukça zordur.

Dış yöneltilme adımında yarı otomatik nokta ölçümü yapılabilmektedir. Bu işlem aynı iç yöneltilmede olduğu gibi gerçekleşmekte ancak her yer kontrol noktası için arama matrisinin kullanıcı tarafından sisteme belirtilmesi gerekmektedir.

5.3 Üç Boyutlu Değerlendirme

Üç boyutlu değerlendirmede de dijital fotogrametrinin sağladığı kolaylıklardan faydalanılmaktadır. Ancak bu kolaylıklardan faydalanabilmek için görüntü içeriğini oluşturan objelerin belirli özelliklere sahip olması gerekmekte, farklı özelliklerdeki objeler için farklı teknikler ve hesap algoritmaları kullanılmaktadır.

Görüntü içeriğini oluşturan objelerin düzgün bir geometrik şekle sahip olmaları, üç boyutlu değerlendirme aşamasında bu objeleri oluşturan noktalar kümesinin tek bir resimden ölçülerek uzay koordinatlarının hesabını mümkün kılmaktadır. Ancak bu geometrik şeklin veya geometrik şekil üzerindeki karakteristik noktaların sisteme aktarılması gerekmektedir. Bu şekilde sistem tek bir resim üzerinde ölçme yapılması suretiyle üç boyutlu nokta bulutunu oluşturabilir.

Tek resim üzerinde ölçme yaparak üç boyutlu cisim koordinatlarının elde edilmesi işlemi, terim olarak fotogrametrinin temel prensipleri ile uyuşmuyor gibi gözükse de bölüm 3.3’de anlatılan merkezi izdüşümün özellikleri incelendiğinde bunun mümkün olduğu görülmektedir. Burada bu özelliklerden iki tanesi önem kazanmaktadır. Bu özellikler resim ve cisim noktaları arasındaki ilişkiyi ortaya koyan özelliklerdir.

- Uzayın her P noktasına yalnız bir P' izdüşüm noktası karşılık gelir
- Her P' izdüşüm noktasına uzayda sonsuz sayıda P noktası karşılık gelir.

Resim üzerinde ölçülen noktalar yukarıdaki özelliklerde P' noktaları olarak anılan izdüşüm noktalarıdır ve bu noktalara sonsuz sayıda P cisim noktaları karşılık gelmektedir. Ancak sisteme önceden herhangi bir geometrik yüzey tanımlanırsa, P' noktasına karşılık gelen sonsuz sayıdaki P cisim noktasından sadece bir tanesinin bu yüzey üzerinde olacağı kesindir. Bu kural sadece tanımlanan geometrik yüzeyin bir hacim oluşturması halinde istisnalarla karşılaşabilir. Bu durumda P' noktası izdüşüm noktası ve izdüşüm merkezinden geçerek uzayda ilerleyen doğru, tanımlanan geometrik yüzeyi en az iki farklı noktada keseceğinden tekil çözüme ulaşmak mümkün değildir.

Tek resim üzerinde ölçme yapmak suretiyle üç boyutlu değerlendirme yapabilmek için geometrik şekli düzlem veya sınırları belirlenmiş eğik yüzeyler olarak seçmek en doğru yol olacaktır.

Üç boyutlu değerlendirme aşamasında, digital fotogrametrinin kolaylıklarından faydalanmanın diğer bir yolu da, görüntü içeriğini oluşturan objelerin ve bu objelerin detaylarının sınırlarını ifade eden çizgilerin, görüntü içeriğindeki grilik değerlerini kullanmak suretiyle otomatik olarak belirlenmesidir.

Bu işleme hat izleme adı verilmektedir. Gelişen bilgisayar donanımları ve buna bağlı olarak da bilgisayar işlemcilerinin çalışma hızı ile doğru orantılı olarak üç boyutlu değerlendirme aşamasında önemli derecede zaman tasarrufu sağlamakta, bunun yanında ölçme doğruluğunu arttırmaktadır.

Hat izleme işleminde digital görüntülerin özelliklerinden faydalanılmaktadır. Özellikle pikseller arasındaki komşuluklar bu işlemin gerçekleşmesinde önemli bir yer tutar. Kullanılacak olan algoritmada, piksel komşulukları tanımlanır ve buna bağlı olarak bilgisayara kodlanır. Algoritmanın geliştirilmesinde önemli olan husus ise sözkonusu algoritmanın işlevselliği ve buna bağlı olarak da süratidir.

Hat izleme işleminde kullanılacak olan digital görüntülerin birtakım özelliklere sahip olması gerektiğinden daha önceki bölümlerde söz edilmişti. Hat izlemede kullanılacak olan digital görüntüler öncelikle noise hatasından olabildiğince

arındırılmış olmalıdır. Noise hatasının özellikle gri değerlerin ekstrem miktarda değişiklik gösterdiği bölgelerde oluşabileceği ve hat izlemede de bu bölgeler sözkonusu olduğu gözönüne alındığında digital görüntülerin bu hatadan arındırılmış olması gerçeği ortaya çıkmaktadır.

Hat izleme işleminde kullanılacak olan digital görüntülerin sahip olması gereken diğer bir husus ise, görüntülerin hat izleme işleminin gerçekleşeceği objeye paralel bir baz üzerinden elde edilmiş olmasıdır. Bunun aksi bir durumla karşılaşıldığı zaman hat izleme işlemi için yapay sinir ağları gibi ileri program algoritmaları ile çalışma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu işlem de öncelikle gelişmiş bilgisayar donanımı ve zaman gerektirmez.



6. UYGULAMA

Tezin uygulama kısmı Visual Basic dilinde yazılmış olan bir bilgisayar programı ve bu programla yapılan uygulamalara dayanmaktadır. Geliştirilen program fare ile belirlenen herhangi bir x,y noktasının grilik değerini hafızaya alabilmektedir. Burada önemli olan, bu grilik değerine sahip komşu noktaların belirlemesidir. Amaç, öncelikle hedef grilik değerine sahip noktalar kümesinin sınırına gitmek ve bu sınır boyunca ilerlemektir. Bu şekilde kapalı bir geometriye sahip noktalar kümesinin sadece sınır çizgisi tesbit edilerek programın alt dosyalarının minimum büyüklükte olması ve programın süratli çalışması sağlanmış olacaktır. Ayrıca bu komşu noktalar arasında aynı grilik değerine sahip olan noktalar bulunduğu takdirde, bir sonraki komşuluk araştırması için hangi noktanın öncelikli olması diğer bir anlamda hangi yönün izlenmesi gerektiği önemli bir konudur. Bu konuda çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Ancak bunların arasından konuya en uygun olan ve istenen tarama ve hat izleme yeteneğini tam olarak yapabilen “dört-üçlü komşuluk” şeklinde adlandırılabilen olan algoritma kullanılmıştır. Diğer algoritmalarından da örnek olması itibarıyla aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

6.1. Sekizli Komşuluk

Bu algoritmada bir noktaya sekiz adet komşu nokta bulunmasından yola çıkılmıştır. Programın kodlanmasında en kolay algoritma olarak gözüксе de isteneni tam olarak verebilecek duruma getirebilmek için çok karmaşık kodlama algoritmasının geliştirilmesi gerektiği farkedilmiştir.

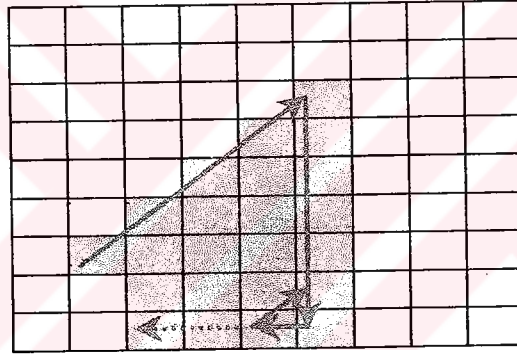
Bu algoritmada bir noktaya komşu olan diğer sekiz nokta aşağıda görüldüğü gibi numaralandırılmıştır. Tarama birinci komşuluktan başlar. Eğer birinci komşulukta istenilen grilik değerine ulaşılamazsa ikinci komşuluğa ve bunun devamı olarak sekizinci komşuluğa kadar arama sürdürülmektedir. Eğer herhangi bir komşulukta istenilen grilik değeri elde edilirse, durulan nokta, yani merkezdeki nokta bu nokta

olarak belirlenmekte ve bu noktanın sekizli komşuluğunda grilik değeri aranmaktadır.

7	8	1
6	0	2
5	4	3

Şekil 6.1.: Komşulukların Numaralandırılması

Temelde uygulama alanında kolaylığı ile goze çarpsa da, bu algoritma yön değiştirmelerde önemli handikaplarla karşılaşmaktadır. Aşağıdaki örnek bu handikapın anlaşılmasında kolaylık sağlayacaktır.



Şekil 6.2.: Sekizli Komşuluk Algoritmasının Gösterimi



Aranan grilik değeriyle eşdeğer nokta



İzlenen yol



İzlemesi gereken yol

Yukarıda görüldüğü gibi, sağ alt köşedeki yön değişimi esnasında program yönü değiştirdikten sonra birinci komşulukta eşdeğer grilik değeri aramakta ve bulmaktadır. Bu yüzden gerçekte izlenmesi gereken noktaları izleyememekte ve burada bir kısır döngüye girmektedir. Bu giderilemeyecek bir kusur değildir ancak tam anlamıyla giderilebilmesi kodlama açısından oldukça zahmet getirmektedir.

Ayrıca değişik karakterdeki geometrilerde giderilmesi daha da güç olan kusurlar görölmüş ve bu algoritmanın konuya uymadığı görölmüştür.

6.2. İkili Dörtlü Komşuluk

Bu algoritmanın geliştirilmesi esnasında sekizli komşulukta karşılaşılan kusurların giderilmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple sekiz komşuluk ikiye ayrılmış ve iki adet dörtlü komşuluk döngüsü tasarlanmıştır. Böylece yön değişikliklerinde karşılaşılan problem kısmen giderilmiştir. Bu algorithmada komşulukların numaralandırılması aşağıda görölmektedir.

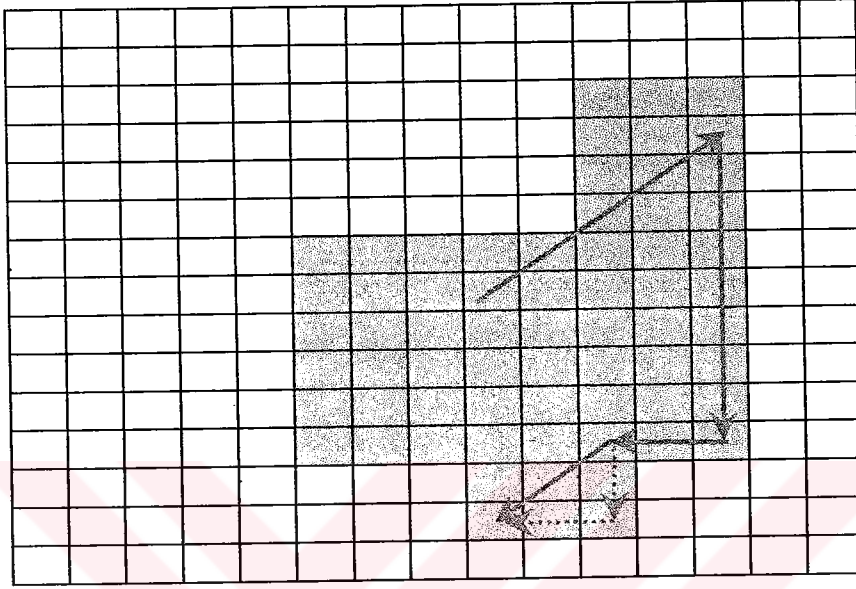
2.3	2.4	1.1
2.2	0	1.2
2.1	1.4	1.3

Şekil 6.3.: Komşulukların Numaralandırılması

İkili Dörtlü komşulukta gri değerin aranması 1.1 komşuluğundan başlar ve 1.2 , 1.3 , 1.4 olarak devam eder. Bu döngünün içinde hedeflenen grilik değerine rastlandığı takdirde, bu nokta yeni aramanın merkezi olarak belirlenir ve işlemler tekrarlanır. Şayet ilk dört komşuluk olan 1.1 , 1.2 , 1.3 ve 1.4 komşuluklarında hedeflenen grilik değerine rastlanmaz ise ikinci döngüye geçilir ve 2.1 komşuluğundan başlayarak aramaya devam edilir. Birinci döngüde olduğu gibi, bu döngü içinde herhangi bir komşulukta hedeflenen grilik değerine rastlanırsa bu nokta yeni aramanın merkezi olarak belirlenir ve aramaya 2.1 komşuluğundan diğer bir deyişle ikinci döngüyle devam edilir. Şayet bu döngü içinde hedef gri değer bulunamazsa 1. döngüye geçilerek işleme aynen devam edilir. Eğer her iki döngüdeki tüm komşuluklarda hedef gri değer bulunamazsa işlem durdurulur ve diğer adımlara geçilir.

Bu algorithmada, sekizli komşuluk algoritmasında karşılaşılan yön değiştirme durumundaki kusur kısmen bertaraf edilebilmiştir. Çünkü bu algoritma ile değişik

geometriye sahip nokta kümelerinin sürekli olarak sınırında ilerlemek mümkün olmamaktadır. Bu algoritma kullanılarak yapılan gri değerlerin taranması işleminde, geometriye bağlı olarak sınırdan noktalar kümesinin içine doğru gözardı edilemeyecek büyüklüklerde sapmalar meydana gelmekte ve bu sapmalar programın amacına ters düşmektedir. Bu hata aşağıdaki örnekle daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 6.4: İkili Dörtlü Komşuluk Algoritmasının Gösterimi

 Aranan grilik değeriyle eşdeğer nokta

 İzlenen yol

 İzlenmesi gereken yol

Burada görüldüğü gibi, sırasıyla 1.1 , 1.4 , 2.2 ve 2.1 komşulukları izlenmektedir. Ancak 2.2 komşuluğundan çıkıldığı zaman gerçekte 1.4 komşuluğunda hedef gri değere sahip nokta bulunduğu halde, algoritma gereği 2.1 komşuluğunda bulunan nokta tesbit edilmekte ve bu şekilde ölü alanlar doğmaktadır. Daha büyük ölçeğe sahip geometrilerde ise bu önemli büyüklüklerde hatalara sebep olmaktadır.

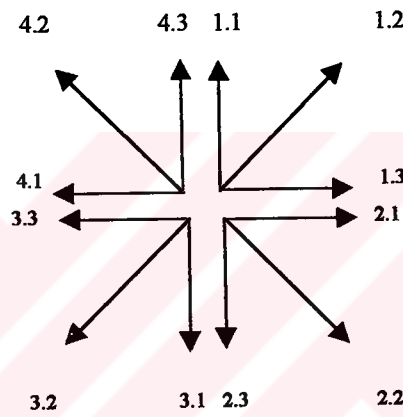
6.3. Dörtlü Üçlü Komşuluk

Bu algoritmanın geliştirilmesi esnasında ilk iki algoritmada karşılaşılan problemlere bağlı olarak şu tesbitler yapılmıştır.

- Geliştirilecek algoritmada farklı döngüler mutlaka olmalıdır.
- Aynı döngüde zıt yönler bulunmamalıdır.
- Ardışık döngülerde en az bir adet ortak yön bulunmalıdır.
- Toplam sekiz adet yön tüm döngülere homogen dağıtılmalıdır.

Bu maddelerin ışığında yeni geliştirilecek algoritmanın 4 döngü içermesi ve her döngü içinde 3 adet yön bulunması düşünülmüştür. Bu şekilde amaca uygun bir program geliştirilebilecektir.

Bu şekilde tasarlanan döngü ve komşuluklar aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 6.5.: Komşulukların Numaralandırılması

Dörtlü üçlü komşulukta en önemli nokta işaretlenen pikselden sınır değerine ulaşmaktır. Bunun için ayrı bir program kodlaması gerekmektedir. Diğer bir deyişle bu algoritma merkezdeki pikselin sınırdaki olduğu durumda sağlıklı çalışabilmektedir. Bu yüzden işaretlenen pikselden sınırdaki piksellere ulaşmak için farklı bir yol izlenmesi gerektiği anlaşılmıştır.

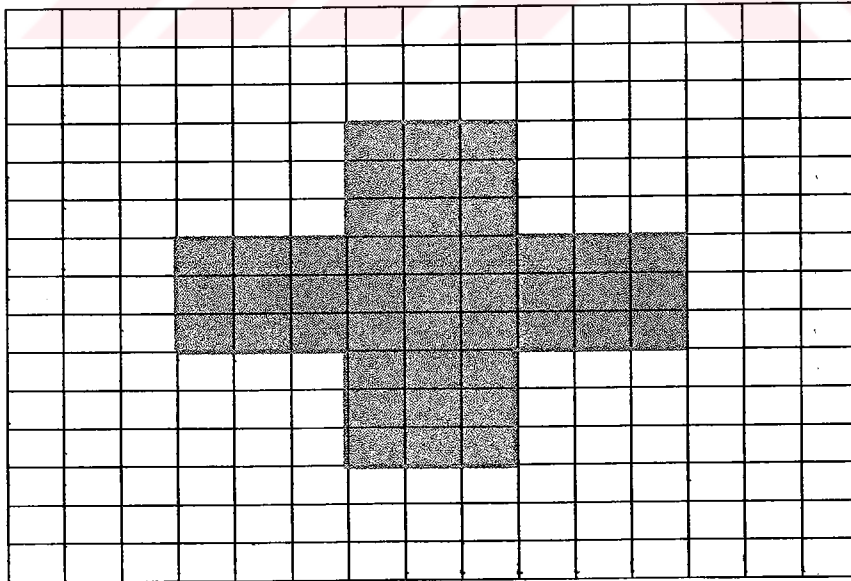
İşaretlenen pikselden sınırdaki piksellere ulaşmak oldukça basittir. Önceden seçilebilecek veya programın işleyişi esnasında kullanıcı tarafından belirlenebilecek herhangi bir yönde sınır değere ulaşana kadar ilerlemek bu amaç için yeterli olacaktır.

Bu algoritmada sınır değerine ulaşılmasının ardından bir piksel geri gelinmekte ve hangi komşuluk ile sınıra ulaşıldı ise bu komşuluğun bir sağındaki piksel ile tekrar

sınırdaki bulunan piksele ulaşılmaktadır. Bu işlemin amacı, farklı grilik değerine sahip pikselleri merkez pikselin sol tarafına almaktır. Çünkü bu algoritmada sınır pikseli öncelikle merkez pikselin solunda aranmaktadır.

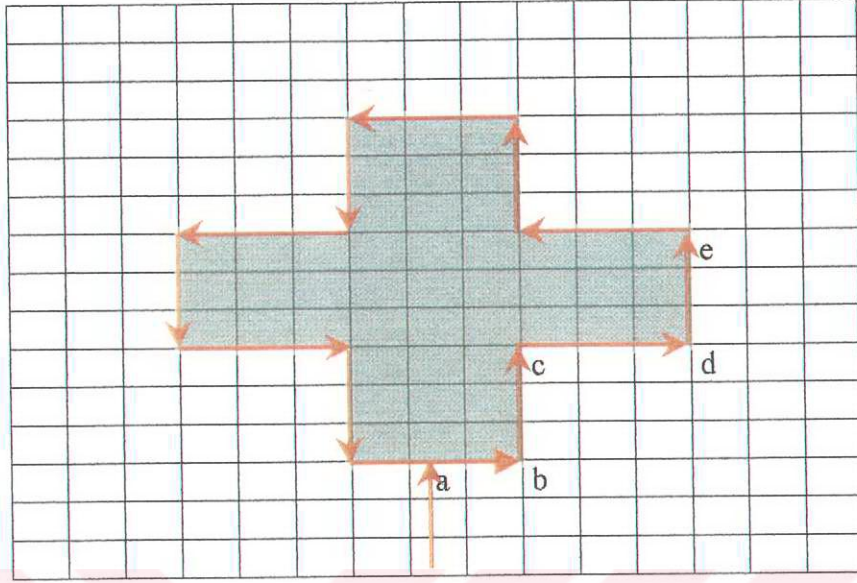
Sınır pikseli tesbit edildikten sonra dörtlü üçlü komşuluk algoritması devreye girmektedir. Bu algoritmada arama işlemi 1.1 komşuluğundan başlar. Ancak bir diğer önemli husus şudur: Herhangi bir döngünün 1. komşuluğunda hedef piksel tesbit edildiği takdirde bu piksel, bulunan komşuluk ile aynı yönde olan bir önceki döngünün 3. komşuluğu ile işaretlenmektedir. Bunun amacı ise geliştirilen ikinci algoritma olan ikili dörtlü komşuluk algoritmasında, geometriye bağlı olarak oluşan ölü alanları ortadan kaldırmaktır. Bu şekilde arama işlemine bir önceki döngünün 1. komşuluğundan devam edilecek ve daha önce de belirtildiği gibi farklı grilik değerine sahip pikseller merkez pikselin sol tarafına alınmış olacaklardır.

Tüm algoritmaların test edilmesi mevcut görüntü dosyaları ile gerçekleştirilmiştir. Bu testler esnasında, teste tabi olan algoritmanın aşağıdaki geometriye sahip bir test alanındaki farklı gri değerleri diğer bir deyişle sınır çizgisini belirlediği takdirde digital bir görüntüde karşılaşılabilecek her çeşit geometride başarılı olacağı belirlenmiştir. Çünkü bu test alanı, piksel geometrisinde karşılaşılabilecek her çeşit dönüş ve sürekliliği içermektedir.



Şekil 6.6.: Test Alanı

Dörtlü üçlü komşuluk algoritması gözönüne alındığında, yukarıdaki test alanında bulunan geometrik yapı tesbit edilebilmektedir. Bunu aşağıda arama yönleri ve işaretleme yönleri belirtilen örnekle açıklamak daha anlamlı olacaktır.



Şekil 6.7.: Dörtlü Üçlü Komşuluk Algoritmasının Gösterilimi

Yukarıdaki şekilde sınır değerine yaklaşım yönü 1.1 komşuluğu olarak seçilmiştir. Algoritma ise sınır değerine ulaşılmasıyla yani a noktasında devreye girmektedir. Bu noktada 1.3 komşuluğunda sınır piksel değerini bulan algoritma b noktasına kadar 1.3 komşuluğu ile ilerlemektedir. Burada ise 1.1 komşuluğunda hedef piksel bulmakta ve daha sonra algoritma gereği 4.3 komşuluğuna atlamaktadır. 4.3 komşuluğu ile c noktasına kadar giden arama işlemi 4.3, 1.1 ve 1.2 komşuluğunda sınır değer bulamamakta ve bu noktada 1.3 komşuluğuna geçmektedir. D noktasındaki işlem adımları b noktası ile aynıdır. E noktasına kadar 4.3 komşuluğu ile ilerleyen algoritma , bu noktada dörtlü üçlü komşuluk algoritmasını diğer iki algoritmadan ayıran en önemli özelliğini kullanarak 4.1 komşuluğunda sınır pikselini tesbit etmekte ve gene algoritma gereği 3.3 komşuluğu ile bu pikseli işaretlemektedir.

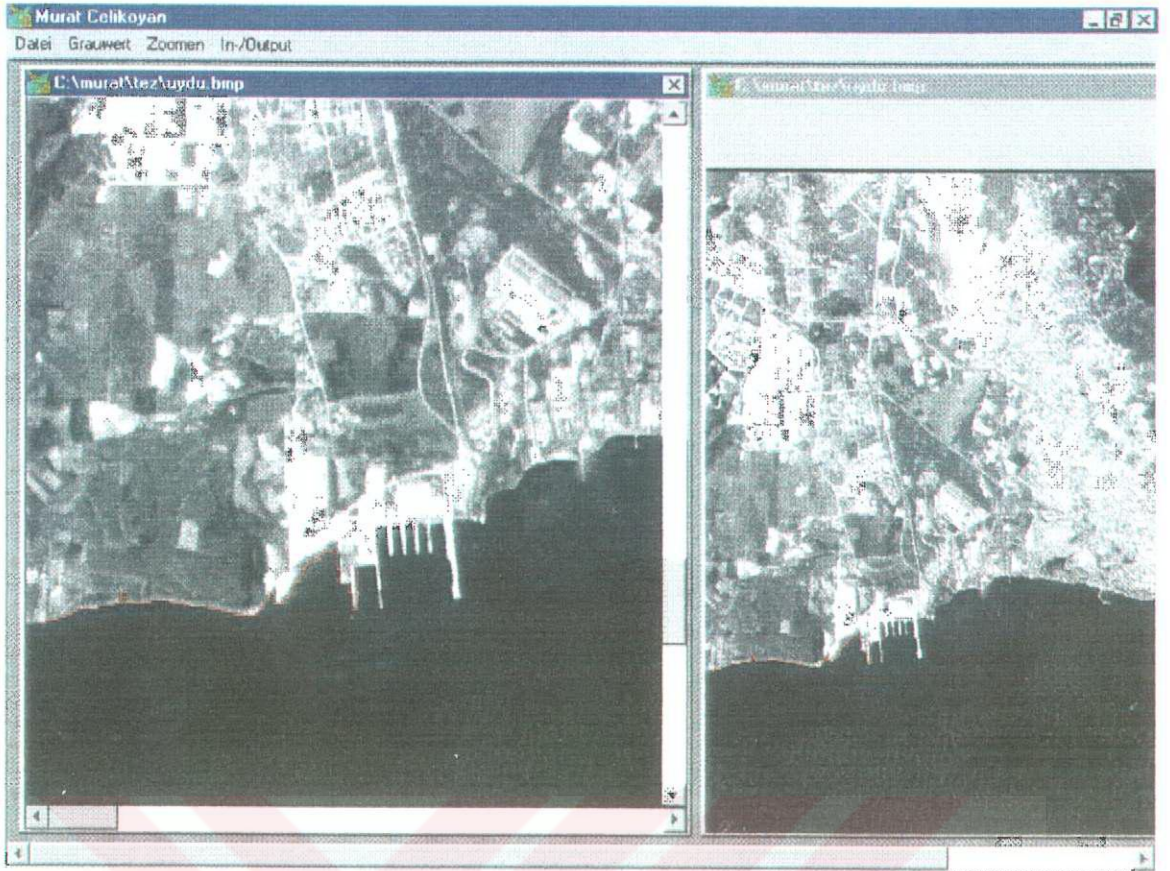
Yukarıda görüldüğü gibi dörtlü üçlü komşuluk algoritması, hedef pikseli her zaman merkez pikselin sol tarafında aramaktadır. Bunun tersi olarak öncelikle sağ tarafta hedef piksel arayan başka bir algoritma aynı mantık çerçevesinde geliştirilebilir. Bu programcının iradesindedir.

Aşağıda bu algoritma kullanılarak kodlanmış programın çalıştırılması sonucu yapılmış bir örnek görülmektedir:



Şekil 6.8.:Geliştirilen Program Kullanılarak Yapılmış Bir Uygulama, Dinar Depreminde (1995) hasar Görmüş olan Dinar Lisesi Binası Üzerindeki Çatlakların Belirlenmesi

Yapılan çalışmalar sonucunda dikkati çeken bir konu da, hat izleme sonucu elde edilen noktaların kaydedildiği dosyanın büyüklüğüdür. Daha sonra yapılacak olan işlemlerin süresini büyük ölçüde arttıran bu dosyalarda bir doğru boyunca elde edilmiş bütün sınır noktalarının koordinatları bulunmaktadır. Ancak geometrik olarak bir doğrunun iki nokta ile ifade edilebileceği düşünülürse, doğruyu ifade eden noktalar arasında kalan noktaların dosya boyutunu büyütmeden başka bir işlevleri olmamaktadır. Bu sebeple izlenen hattın sadece kırılma noktalarının seçilmesi ve geri kalan noktaların değerlendirme dışı bırakılması yerinde olacaktır. Bu amaçla, elde edilen noktalar kümesinde sadece eğimin değiştiği noktalar seçilmiş, diğer noktalar ise atılmıştır.



Şekil 6.9.: Geliştirilen Program Kullanılarak Yapılmış Bir Uygulama, İstanbul Bölgesine Ait Uydu Görüntüsü Üzerinden Kıyı Şeridinin Otomatik Olarak Belirlenmesi

Yukarıdaki şekilde, SPOT uydusunun pankromatik kanalından 1993 yılında alınmış bir uydu görüntüsü üzerinde kıyı şeridinin otomatik olarak belirlenmesine bir örnek gösterilmektedir. Uydu görüntüsünün uzaysal çözünürlüğü 10 m., radyometrik çözünürlüğü ise 8 bit'tir. Çözünürlüğü yüksek olan görüntülerde yapılacak olan otomatik hat izleme işlemleri oldukça sağlıklı sonuçlar vermekte ve zaman tasarrufu sağlamaktadır.



Şekil 6.10.: Geliştirilen Program Kullanılarak Yapılmış Bir Uygulama: Hava Fotoğrafları Üzerinden Sınır Bölgelerinin Otomatik Olarak Belirlenmesi

Geliştirilen programın kullanılabileceği bir diğer uygulama alanı da hava fotogrametrisidir. Yol, ormanlık alanlar vb. gibi normal arazi yapısından daha farklı grilik değerine sahip olan objelerin sınır çizgileri bu programla otomatik olarak belirlenebilmektedir. Burada karşılaşılan önemli bir problem, görüntü içeriğindeki normal olmayan durumlardır. Yukarıdaki örnek incelenecek olursa, yol kenarındaki ağaçların, bir bölgede yolu üstten kapladıkları görülmektedir. Bu durumda yolun alt çizgisini belirlemek için çalıştırılan program, sözkonusu bölgeye kadar istenilen sonucu vermekte, ancak bu bölgede ağaçların sebep olduğu farklı gri tonlarından ötürü yolun üst çizgisine atlama yapmaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Visual Basic dilinde yazılan bir program kullanılarak gri değerler kullanılarak yersel resim, hava resmi ve uydu görüntüsü üzerinde hat izleme uygulaması yapılmıştır. Manuel olarak yapıldığında oldukça zahmetli ve zaman gerektiren bu işlem, bilgisayar programı sayesinde çok kolaylaştırılmıştır. Ayrıca manuel ölçmelere göre çok daha hassas sonuç elde edildiği de bir gerçektir.

Programın digital görüntülerle çalışmasından ötürü geniş kapasiteli bilgisayarlara ihtiyaç bulunmaktadır. Yüksek çözünürlüklü digital bir görüntünün bilgisayar belleği üzerinde oldukça büyük bir yer kaplaması ve buna bağlı olarak da kullanılan programın yavaş işlem yapması bu ihtiyacı doğurmaktadır.

Program geliştirme işlemi esnasında farklı algoritmalar geliştirilmiş ve bunlardan en uygun ve amaca uygun olanı seçilerek program akışına dahil edilmiştir. Ayrıca programlama esnasında kullanıcı kolaylığı da düşünülmüş ve programın menüleri bu amaca göre düzenlenmiştir.

Bilgisayar programlama dilleri gözönüne alındığında, nesneye yönelik (object oriented) ve kullanıcıya yönelik (user oriented) olarak iki genel programlama dili grubuyla karşılaşılmaktadır. Uygulamaya konu olan program bu iki grubun tam ortasında olarak kabul edilen Visual Basic programlama dilinde yazılmıştır. Ancak özellikle digital görüntüler üzerinde yapılan işlemler esnasında programlama dilinden kaynaklanan önemli problemlerle karşılaşılmış ve bunlar kısmen giderilmeye çalışılmıştır. Digital görüntülerin sözkonusu olduğu programların geliştirilmesi için herşeyden önce kullanıcıya yönelik programlama dilleri yerine nesneye yönelik programlama dillerinin kullanılmasının daha uygun olacağı da bir gerçektir. Bu şekilde farklı formatlardaki görüntülerle çalışma olanağı bulunacaktır. Bilindiği gibi Visual Basic dilinde çok az sayıda farklı digital görüntü formatı ile çalışma olanağı vardır. Ancak bu görüntü formatları daha çok animasyona yönelik formatlardır.

Daha etkin bir programın geliştirilmesi için diğ er bir etken de her türlü çalışmada olduğu gibi zamandır. Yeterli zaman kullanıldığı takdirde geliştirilen programa daha farklı işlevlere sahip modüller ve alt programlar eklemek, kullanıcıyı başka programları kullanma zahmet ve zorunluluğundan kurtaracaktır.  rnek olarak digital bir görüntüdeki noise hatasının giderilmesi için uygulama esnasında Adobe Photoshop 4.0 programı kullanılmış ve bu da zaman kullanımını olumsuz yönde etkilemiştir.

Söz konusu uygulamalarda kullanılacak programlarda olması gereken en önemli modül, yöneltme modülüdür. Y neltmeyi yaparak uygulanacak hat izleme işlemini gerçekleştiren bir bilgisayar programı, birtakım modül ve alt programlar eklenerek komple bir digital fotogrametrik yazılım haline dönüştürülebilecektir.

Bunların yanında görüntü içeriğinden kaynaklanan hatalar da olmaktadır. Çalışmanın uygulama kısmında yer alan hava fotoğrafında g r ld ğu gibi, izlenen yolu kaplayan ağaçlar gibi birtakım objeler gri renk tonlarına göre hat izleme işleminde ciddi hatalara sebep olmaktadır. Bu gibi durumlar için ileri matematiksel algoritmalar ihtiyaç bulunmaktadır. Yapay sinir ağları ve bunları destekleyen bilgisayar programlama dilleri kullanıldığında, bu tip problemlerin çözümü de kolaylaşacaktır.

Sonuç olarak geliştirilen program digital fotogrametrinin önemli konularından biri olan otomatik hat izleme işlemin gerçekleştirmektedir. Digital fotogrametrik bir programın temelleri gerçeklenmiş ve yapılacak birtakım eklemelerle komple bir digital fotogrametrik yazılım üretilmesi sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Altan M.O.**, 1974. Stereo- ve Monokomparatörlerin Blok Triangülasyonundaki Rolü ve Kadastro Fotogrametrisine Uygulama, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [2] **Tekgöl, A.** 1998. Digital Fotogrametride Nesne Yüzey Modelinin Gri Değerler Yardımı İle Otomatik Olarak Üretilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Kraus, K.** 1997. Photogrammetrie Band I, Dümmlers Verlag, Germany
- [4] **Kraus K.** 1997. Photogrammetry Volume II, Dümmlers Verlag, Germany
- [5] **Baehr, H.P. and Vögtle, T.** 1991. Digitale Bildverarbeitung, Wichmann, Karlsruhe, Germany
- [6] **Sonka M., Hlavac, V. and Boyle, R.** 1998. Image Processing, Analysis, and Machine Vision, PWS Publishing, USA
- [7] **Grün, A.** 1992. Digitale Nachbereichsphotogrammetrie, *Allgemeine Vermessungsnachrichten* 8-9/92, 324-343.
- [8] **Albertz, J. und Kreiling, W.**, 1989. Photogrammetrisches Taschenbuch, Wichmann, Germany

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Ankara’da doğdu. İlköğretimini Ankara Etimesgut Şeker İlkokulu ve Ahmet Vefik Paşa İlkokulu’nda, orta ve lise öğretimini Ankara Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 1991 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü’nde okumaya hak kazandı ve bir yıl süreyle İ.T.Ü İngilizce Geliştirme Programına devam etti. 1997 yılında lisans diploması aldı ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yüksek lisans programına başladı.

Ocak 1998’den bu yana İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Fotogrametri Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

