

**DİĞİTAL FOTOGRAMETRİK ORTOFOTO
ÜRETİMİNE YÖNELİK BİR SYM BİLGİSAYAR
PROGRAMI VE UYGULAMALARI**

100 745

DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Bashar BASHİR
(501950021012)

100745

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Ocak 1999
Tezin Savunulduğu Tarih : 7 Temmuz 1999

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Orhan ALTAN

Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Tevfik AYAN (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Onur GÜRKAN (B.Ü.)

Prof.Dr. Ahmet YAŞAYAN (Y.T.Ü.)

Doç.Dr. Gönül TOZ (İ.T.Ü.)

Temmuz 1999

ÖNSÖZ

Digital ortofoto üretiminin incelendiği bu çalışmada tez yürütücülüğümü üstlenen ve tezimin her aşamasında bilgi ve deneyiminden yararlanıp, yardım ve desteğini gördüğüm sayın hocam Prof. Dr. M. Orhan ALTAN'a çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında destek ve yardımını gördüğüm Fotogrametri Anabilim Dalı Öğretim Üyeleri Doç.Dr. Gönül TOZ, Doç.Dr. Sıtkı KÜLÜR ve Doç.Dr. Dursun Z. ŞEKER'e, Araştırma görevlileri Y.Müh. Zaide DURAN, Y. Müh. Hande DEMİREL, Müh. Bahadır ERGÜN ve Müh. Murat ÇELİKOYAN'a, Ing. Steffen VOLZ'a ve Tek. Kadriye YÜCETÜRK'e çok teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında ilgi ve desteğini hiç esirgemeyen eşim Chaza MARUF'a ve oğlum Hüseyin'e, yardımlarını gördüğüm tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve özellikle aileme çok teşekkür ederim.

Bashar BASHIR

Temmuz 1999

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	xiv
1.GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI	1
2.FOTOGRAMETRİNİN MATEMATİK ESASLARI:	3
2.1 Genel Esaslar	3
2.2 Kolinearite (Doğrusallık) Koşulu	5
2.3 Koplanearite (Eşdüzlemlilik) Koşulu	7
2.4 Çözüm Algoritmaları	9
3. DÜŞEYE ÇEVİRME YÖNTEMLERİ	11
3.1 Düşeye Çevirmenin Amacı ve Genel Teorisi	11
3.2 Diferansiyel Düşeye Çevirme	13
3.3 Düşeye Çevirmenin Doğruluğu ve Hata Kaynakları	14
4.ORTOFOTOLARIN ÜRETİM AŞAMALARI	17
4.1 Piksel Piksel Diferansiyel Düşeye Çevirme	17
4.2 Sabit Nokta Yöntemi ile Diferansiyel Düşeye Çevirme	18
4.3 Kameraların Kalibrasyonu	20
4.3.1 Self-kalibrasyon ile Demet Dengelemesi	21
4.4 Fotoğrafın Sayısallaştırılması	23
4.5 Sayısal Yükseklik Modeli	24
4.6 Digital Ortofoto Üretim Programı	24
5.SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİ (SYM)	26
5.1 Tanım ve Tarihçe	26
5.2 Sayısal Yükseklik Modeli Sistemi	27
5.2.1 SYM Üretimi	27
5.2.2 SYM İşlemesi	29
5.2.3 SYM Yorumlaması	30
5.2.4 SYM Görselleştirmesi	30
5.2.5 SYM Uygulamaları	30
5.3 Sayısal Yükseklik Modelleme Yöntemleri	31
5.3.1 Grid Yöntemleri	31
5.3.2 Üçgenleme Yöntemleri	36

6.UYGULAMA	38
6.1 3D-FOTO Yazılımın İncelenmesi	38
6.1.1 Koordinatların Okunması ve Depolanması	39
6.1.2 Noktaların Çizilmesi ve Editlenmesi	39
6.1.3 Üçgenleme	41
6.1.4 Transformasyon İşlemleri	41
6.1.5 Ağırlıklı Ortalama ile Enterpolasyon Modelinin Araştırılması	42
6.2 Pictran Yazılımı	53
6.2.1 İç Yönelme	54
6.2.2 Dış Yönelme	55
6.2.3 Üç Boyutlu Değerlendirme	57
6.2.4 Ortofoto Üretilmesi	57
6.3 Uygulamalar	58
6.3.1 Kampus Uygulaması	58
6.3.2 Dolmabahçe Sarayı Uygulaması	59
7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
EKLER	65
ÖZGEÇMİŞ	86

KISALTMALAR

SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
TIN	: Triangulated Irregular Network
CCD	: Charge Coupled Device
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
dpi	: Dot Per inch



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3. 1 Düşeye çevirme ölçeği için maksimum yükseklik farkları	15
Tablo 6. 1 Kritik mesafenin bulunması	47
Tablo 6. 2 Fotogrametrik değerlendirilmeden beklenen doğruluk derecesi	51



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2. 1 Merkezi izdüşüm	3
Şekil 2. 2 Koplenarite Koşulunda Vektörler	8
Şekil 2. 3 Fotogrametride çözüm Algoritmaları	10
Şekil 3. 1 Düz arazinin eğik resim çekimi	12
Şekil 3. 2 Eğimin sabit olması durumunda değişme	12
Şekil 4. 1 Görüntü pikselini ortofoto pikseline dönüştürme işlemi	17
Şekil 4. 2 Ham resim ve grid ağı görüntüsü	18
Şekil 4. 3 Aynı resim (şekil 4.2) Ortofoto ve grid ağı dönüştürdükten sonraki durum	19
Şekil 4. 4 Digital ortofoto üretimi için akış diagramı	20
Şekil 4. 5 Cisim uzay ve kamera koordinat sistemi arasındaki ilişki	24
Şekil 4. 6 Digital ortofoto yazılım akış diagramı	25
Şekil 5. 1 SYM TIN yapısı	28
Şekil 5. 2 Filtreleme ve yumuşatma işlemleri	29
Şekil 5. 3 Sonlu elemanlarla enterpolasyon	32
Şekil 5. 4 hi yükseklik değerleri	33
Şekil 5. 5 Tek değişkenli polinomlarla enterpolasyon	34
Şekil 5. 6 Üçgenleme yönteminde lineer enterpolasyon uygulaması	37
Şekil 6. 1 Dosyanın yapısının tanımlanması	39
Şekil 6. 2 Görüntü seçme menüsü	40
Şekil 6. 3 Prespektif görüntü	40
Şekil 6. 4 Üçgenleme işlemi sorgulama	41
Şekil 6. 5 Üçgenleme menüsü	41
Şekil 6. 6 Afin transformasyonun menüsü	42
Şekil 6. 7 Katsayıları otomatik olarak bulunması ve değiştirilmesi	43
Şekil 6. 8 Kaba hatalı noktaların ayıklanmasının menüsü	44
Şekil 6. 9 Kaba hatalı noktaların ayıklanması bir örnek	45
Şekil 6. 10 Noktaları saran eğrinin dikdörtgen şeklinde olması durumu	45
Şekil 6. 11 Noktaları saran eğrinin dikdörtgen olmaması durumu	46
Şekil 6. 12 Orta mesafenin bulunması	46
Şekil 6. 13 Farklı D değerleri için elde edilen eş yükseklik eğrileri	47
Şekil 6. 14 Matematik modelin uygulanabilirliğinin koşulu	48
Şekil 6. 15 Tepenin ikinci dereceden bir fonksiyon benzetilmesi	49
Şekil 6. 16 Kritik kare içindeki noktayı etkileyen dayanak noktaları	50
Şekil 6. 17 Ağırlık modeli kavramı	52
Şekil 6. 18 Ağırlıklı ortalama ile enterpolasyonun akış diagramı	53
Şekil 6. 19 Resimde piksel sistemini seçilmesi	55
Şekil 6. 20 Resimde film sistemini seçilmesi	56
Şekil 6. 21 Ortofoto üretimi için üçgenlerin belirlenmesi	57

SEMBOL LİSTESİ

λ_i	: Ölçek faktörü
O	: perspektif merkezi
x_i, y_i	: i noktasının resim koordinatları
D	:Dönme matrisi
x_o, y_o	:Resim ana noktası koordinatları
c	:Kamera sabiti
ω, ϕ, χ	:Hava resminin dönme açıları
X_i, Y_i, Z_i	:İ noktasının cisim koordinatları
X_0, Y_0, Z_0	:Resim çekim merkezi koordinatları
F'	:fırar noktası
A,B,C	:vektörler
h'	:Uçuş yüksekliği
β_x, β_y	:Arazi eğimi belirli noktada X,Y yönündeki bileşenler
M_x	:Ortofoto aletinin ölçek değişimi
Q_x	:Görüntü dönmesi izdüşüm görüntü elemanı
Δr	:İşinsal hatası
W	:Yarık uzunluğu
h	:Yarık mesafesinin yüksekliği
Δh_{max}	:Maksimum yükseklik farkı
$\Delta r'_{max}$	:Maksimum nokta ötelenmesi
$\Delta x, \Delta y$	:ek parametreler
psx, psy	:x ve y doğrultusundaki piksel aralığı.
$\Delta x_p, \Delta y_p, \Delta c$	: iç yöneltme elemanlarının değişimi
S_x	: x yönündeki ölçek
K1, K2, K3	: simetrik radyal distorsiyonun ilk üç parametresi
P1, P2	: dağınıklı distorsiyonun ilk iki parametresi
ct	:İnterpole edilecek nokta ile dayanak noktaları arasındaki kovaryans vektörü
C	:Dayanak noktaları için kovaryans matrisi
W_{ij}	: Ağırlık katsayısı
S_{ij}	: i,j iki noktanın arası uzaklık
m_k	: harita ölçeği
α	: arazi eğrimi

DİĞİTAL FOTOGRAMETRİK ORTOFOTO ÜRETİMİNE YÖNELİK BİR SYM BİLGİSAYAR PROGRAMI VE UYGULAMALARI

ÖZET

Son zamanlar bilgisayar teknolojisinde çok büyük gelişmeler oluşmuştur. Sayısal bilgi ve otomasyona olan talebin artması nedeniyle haritaların sayısal tekniklerle üretilmesi de popüler hale gelmektedir. Klasik haritacılığın bu karşılması mümkün olmayan bu talebi dijital olarak üretilmiş ortofotolar karşılayabilirler.

Bir ortofoto, fotoğraf geometrisinden dolayı oluşan distorsiyonu ortadan kaldırmak için diferansiyel anlamda düşeye çevrilmiş bir fotoğrafik görüntüdür. Ortofotolar geometrik olarak standart bir çizgi ve sembol haritasına eşdeğerdir; sadece semboller ve çizgileri değil, aynı zamanda gerçek fotogrametrik görüntü içerirler. Bir ortofoto üretimi için topoğrafya nedeniyle ortaya çıkacak görüntü distorsiyonlarını düzeltmek amacıyla bir sayısal arazi modeline (SAM) gereksinim duyulur.

Bir SYM, normal olarak topoğrafik haritaları veya uydu görüntülerinden türetilen yükseklik verilerinin bir düzgün ağda modellenmesiyle oluşur. Bir sayısal arazi modeli, enterpolasyon yöntemi ve yazılım ile ilgilidir. “SAM nedir” sorusuna basit bir cevap bir sonraki paragrafla verilmiştir.

Bir sayısal yükseklik modeli (SYM) yeryüzeyinin belli bir bölümünün iki boyutlu bir yüzeyde dijital olarak temsil edilmesini sağlar. Görüşler bir SYM de “yükseklik” yerine “arazi” kullanılması konusunda farklılaşmaktadır. Buradaki yükseklik sadece arazi yüzeyi temsil edildiğinde tercih edilir oysa arazinin yüksekliğinden çok öznelikleri önemli ise o zaman arazi kullanılır. Arazi ifadesinin kullanımı, topoğrafyanın yayında diğer arazi özneliklerinin eklenmesine alanak tanır ki bu durum arazinin bir kısmının dijital olarak temsil edilmesi olanağını artırır. SAM kullanımı ile tek değerli bir sayısal model oluşturulabilir, örneğin nüfus yoğunluğu, erezyon veya sahil yüzeyi.

Sayısal yükseklik modelleri, özellikle drenaj ve potansiyel su baskınları gibi topoğrafyanın etkili olduğu, GIS uygulamalarında, kullanım bölgesi analizde, görüş analizi problemleri ve güneş ve rüzgar patlamaları konularında özellikle yararlıdır. Bu tür dosyalar bütün ülke için oluşturulabilir. SAM üretiminde kullanılan bazı temel aşamalar daha sonraki paragraflarda özlenmiştir.

SYM üretiminde kullanılan temel veriler, eşyüksekti eğrilerinin sayısallaştırılması, fotogrametrik veri üretimi (hava fotogrametrisi ve uydu verileri dahil) ve ölçmeler yardımıyla elde edilen arazi yükseklik verileridir. En yaygın olarak kullanılan eşyüksekti eğrilerinden üretilendir. Eş yüksekti eğrileri çizgisel haritalardan el ile, yarı otomatik,

çizgi izleme veya otomatik tarama yöntemlerinden birisi ile sayısallaştırılır veya oluşturulan stereomodelden fotogrametrik olarak doğrudan doğruya elde edilir.

SYM işleme, mevcut SYM lerinin kalibre edilmesi, iyileştirilmesi ve tamamlanması için gereklidir. Bunların arasında SYM lerini bir yapıdan diğer bir yapıya dönüştürme işlemlerinin yanında editleme, filtreleme ve birleştirme işlemleri de vardır. Editleme SYM lerinde hataları düzeltme ve güncelleştirme için gereklidir. Filtreleme, düşük ve yüksek geçiş filtrelemelerinin sayısal kullanımı ile çoğaltma ve yumuşatma fonksiyonlarını içerir. Yumuşatma fonksiyonu ile SYM indeki detaylar azaltılır veya ortadan kaldırılır.

Ağırlıklı Ortalama ile Enterpolasyon seçilen dayanak noktalarına uzaklıklarına göre ağırlıklar verilmektedir, bu yöntemin matematik modeli aşağıdaki gibidir

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^k Z_j \cdot w_{ij}}{\sum_{j=1}^k w_{ij}} \quad (1)$$

burada W_{ij} ağırlığı enterpolasyon noktası ile dayanak noktası arasındaki fonksiyonudur. Çok yüksek çözünürlüklü görüntü elde etme, çok fazla miktarda ham verinin depolanması gibi bazı problemlere sebep olabilir.

Ortofoto üretimi için üç kısma ayrılabilir. Bunlar; geometrik parametrelerin hesaplanması, sabit nokta vektörlerinin v projeksiyonların hesaplanması.

Ortofoto işlemi için çeşitli giriş verileri vardır. bunlardan bazıları; üç boyutlu arazi koordinatlarının içeren sayısal arazi modelleri, etkileşimli olarak sayısallaştırılmış orta nokta bulucuları, digital görüntüdeki yaklaşık orta nokta bulucuları, fotoğraf üzerinde sayılaştırılmış kontrol noktaları, yeryüzünde bunlarla karşılık gelen kontrol noktaları ve iç yönlendirme parametrelerinin, kalibre edilmiş odak uzaklığının, mercek distorsiyon değerlerinin, bozulmuş kamera görüntüdeki kalibre edilmiş sonra orta nokta bulucuları, uçuş yüksekliği gibi bilgilerin yer aldığı uçağın dış yönlendirmesinin içinde aldığı kamera kalibrasyon raporu.

Digital ortofotoların kullanımı üretiminde bilinen doğruluğa bağlıdır. Digital ortofotonun doğruluğu aşağıdaki etkenler bağlıdır.

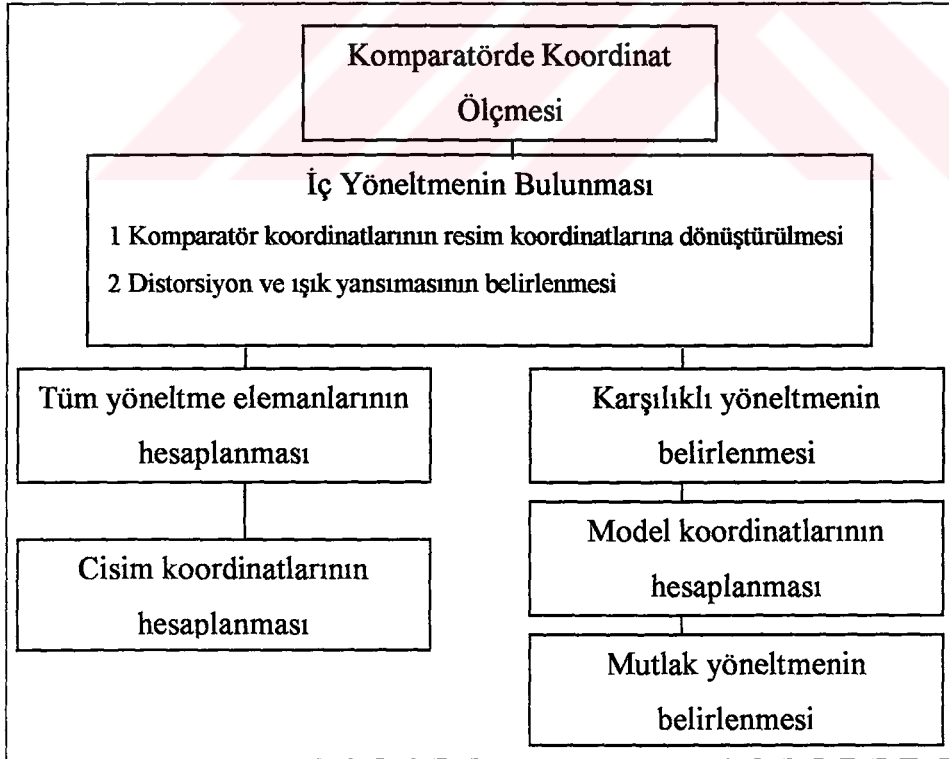
- Kamera ve odak uzaklığı
- Çıktı ölçeğine büyütme
- Diapozitiflerin yoğunluk oranı veya tarayıcının çözünürlük kalitesi
- Tarayıcının işlenmemiş ham veri tarama kalitesi ve geometrik doğruluğu
- Mikron veya fotoğraf ölçeğinde dpi ile ifade edilen tarama örneklerinin kalitesi
- Diferansiyel düşeye çevirme yöntemleri

- Sonuç piksellerinin boyutu
- Radyometrik düzeltme
- Kontrol noktalarının tanımlanması
- Kamera odak uzaklığına bağlı arazi veya binadaki varyans
- (Sayısal Yükseklik Modeli) DEM'in yoğunluğu ve kalitesi

Ortofoto aşağıda belirtilen iki üretim yöntemi ile hesaplanabilir.

- *Piksel-piksel diferansiyel düşeye çevirme yöntemi*: Bu yöntemde göre, ters distorsiyona eşit olan local yerdeğıştirme vektörü bütün dönüşüm formüllerine göre her bir piksel için hesaplanır.

- *Sabit nokta Yöntemi*: Bu yöntemde geometrik dönüşüm sayısal arazi modeli (SAM) tarama formatındaki noktalara uygulanır. Ortofoto projeksiyon sırasında dört komşu grid köşesi bilineer enterpolasyonu ile her piksel için geometrik düzeltme vektörleri elde edilir.



Şekil 1. Fotogrametride çözüm Algoritmaları

Bu çalışmanın amacı kaliteli ortofoto üretilmesi ve bu amaçla araziye en uygun SYM elde edilmesidir. Bu amaç için VB 5.0 programlama dili kullanılarak 3D-Foto diye isimlendirilen bir program yazılmış ve o program sadece SYM üretmekle kalmayıp aynı zamanda nokta dönüşümü, ortofoto programına gerekli dosyalar üretilmesi ve kolay şekilde istenen üç boyutlu arazi görüntüsünün izlenebilmesi ve bütün üç boyutlu koordinat editlemelerini yapabilmektedir.

Bu Doktora çalışması 7 bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde çalışmanın amacı verilmiştir. İkinci bölümde fotogrametrinin genel matematik esasları ve merkezi projeksiyonun çözüm algoritmaları irdelenmiştir. Fotogrametrik çözüm algoritmalarının işlem akışı şekil 1. de gösterilmiştir. Bu bölümde fotogrametrinin Kolinearite (Doğrusallık) ve Koplanearite (Eşdüzlemlilik) Koşulu da verilmiştir.

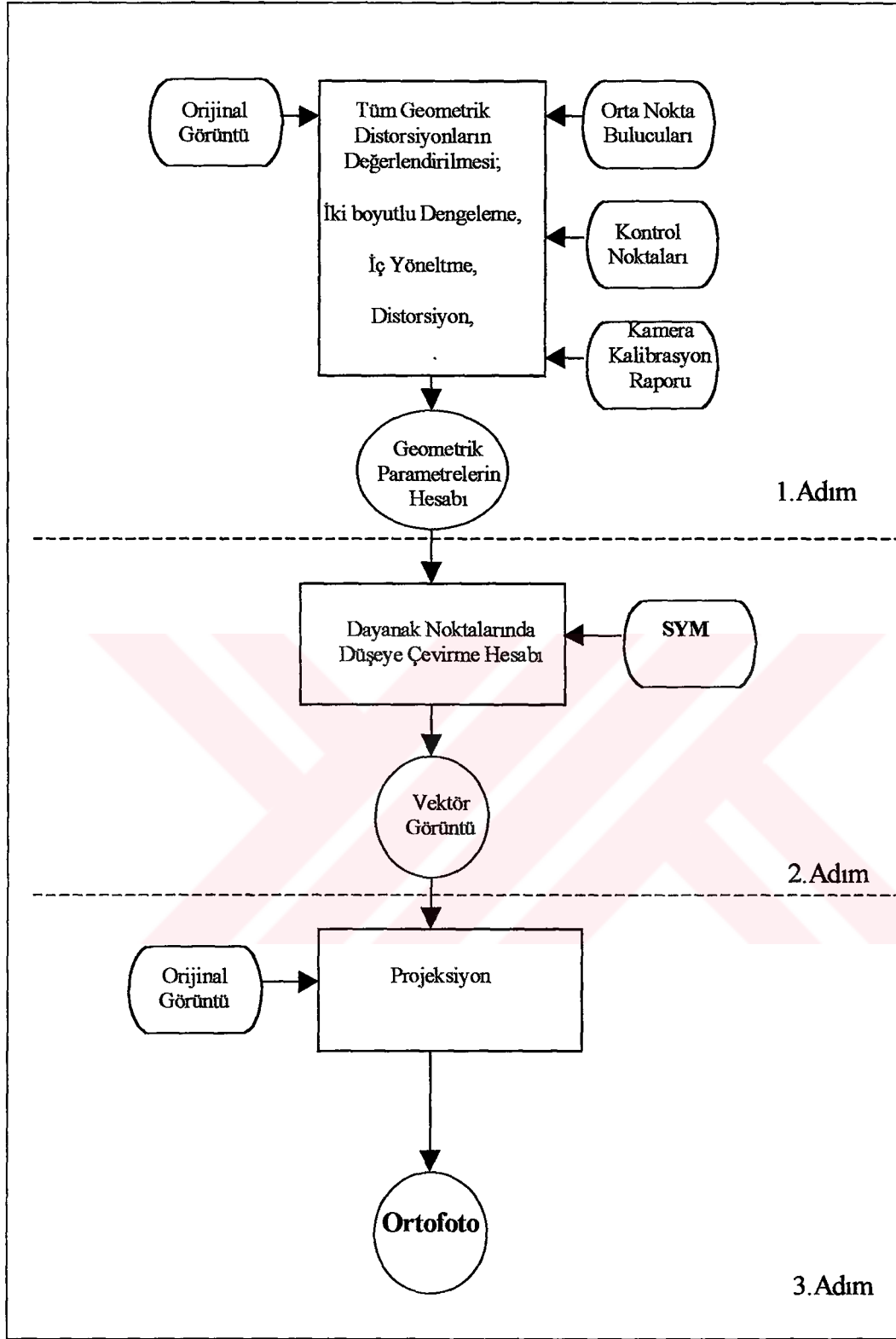
Üçüncü bölümde, ortofotoların tanımı, düşeye çevirmenin matematik anlamı ve düzeltme yöntemleri verilmiştir. Digital ortofotoların değişik alanlarda kullanımının üzerinde durulmuştur. Diferansiyel düşeye çevirmenin matematiksel dayanağı da bu bölümde ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde ortofotoların üretim aşamaları ile ilgilidir. Bu bölümde piksel-piksel ve sabit nokta yöntemleri gibi farklı diferansiyel düşeye çevirme yöntemleri üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte fotoğrafların taranması, sayısal yükseklik modellerinin tanımı ve ortofoto üretim programı da bu bölümde irdelenmiştir. Digital ortofoto üretim programının akış diyagramı şekil 2 de verilmiştir.

Sayısal arazi modelinin gelişimi ve kavramı, veri elde edilmesi, verinin işlenmesi, yorumlanması, görselleştirilmesi ve farklı uygulamaları beşinci bölümde verilmiştir. Bu bölümde ayrıca, enterpolasyon yöntemleri irdelenmiş ve uygulamada kullanılacak enterpolasyon yöntemi kısaca irdelenmiştir.

Bölüm 6'da Visual Basic 5.0 programlama dili kullanılarak yazılmış olan uygulama programı incelenmiş ve ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon modelinin çözümü karşılaştırılmıştır. Ayrıca, PICTRAN digital fotogrametri yazılımı bu bölümde incelenmiştir.

Uygulama sonucu elde edilen sonuçlar ve yeni çalışmalar için öneriler yedinci bölümde verilmiştir.



Şekil 2. Digital ortofoto yazılım akış diagramı

DEVELOPING A DTM SOFTWARE FOR PHOTOGRAMMETRIC DIGITAL ORTHOPHOTO PRODUCTION AND APPLICATIONS

SUMMARY

There is an enormous development in computer technology at recent years. Because of the increasing demand for digital information and automation, producing of maps by digital techniques becomes popular. As classical mapping techniques can not fulfil this demand, this can be fulfilled by digital by produced orthophotos.

An orthophoto is a photogrammetric image which is differentially rectified in order to remove any distortion due to photographing geometry. Orthophotos are geometrically equivalent to standard line and symbol maps, but they includes not only lines and symbols but also actual photogrammetric images. In order to produce an orthophoto a terrain model (DTM) is needed in order to correct the image distortions caused by relief displacement.

A DEM is normally generated by sampling a regular grid of elevation values derived from topographic maps, aerial photographs or satellite images. A digital terrain model involves an interpolation method and a computer program. To give a simple answer to the question of "What is a DEM?" is given following paragraph.

A Digital Elevation Model (DEM) provides a digital representation of a portion of the earth's terrain over a two dimensional surface. Opinion differs over whether "terrain" should be used in place of "elevation" in a DEM. Elevation is preferred when only relief is represented whereas terrain is used to imply attributes of a landscape other than the altitude of that landscape. Using terrain allows for the possibility of including landscape attributes other than topography as a means of improving the digital representation of a section of terrain. The functional significance of using DTM could therefore imply a digital model of any single-value surface (population density, cost surface, or erosion potential).

Digital elevation models are particularly useful for GIS applications that are influenced by topography, such as drainage and flood potential, facility site analysis, viewshed problems and solar or wind exposure issues. These kinds of files can be produced for the entire state. Some of the several basic steps are used to produce DTM are abstracted at the following paragraphs.

DEM generation, is the basic data for a DEM is based on terrain elevation observations which are derived generally from one of three sources: digitized contours, photogrammetric data capture (including aerial photography and digital satellite

imagery), and surveying. Contours from analog maps are normally digitized by manual digitizing, semi-automated line-following, or automatic raster-scanning.

DEM manipulation is manipulation procedures are essential in order to modify, calibrate, or refine the existing DEMs. They include editing, filtering, merging and joining besides procedures for converting DEMs from one structure to another. Editing is required to correct errors and updating DEMs. Filtering involves smoothing and enhancement functions by using low-pass and high-pass filters respectively.

Interpolation with weighted average is the height of an interpolation point is found by weighted arithmetic average of the heights of selected reference points.

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^k Z_j \cdot w_{ij}}{\sum_{j=1}^k w_{ij}} \quad (1)$$

Here the weight w_{ij} is a function of the distance between the interpolation point and reference points.

Handling of very high resolution images can cause problems such as; saving the huge amount of raw data. The procedure of the orthophoto produce can be divided into three steps. These steps are; Calculation of geometric parameters, Calculation of anchor point vectors and Orthoprojection.

There are several sources as input data for orthophoto process. Some of them are; Digital terrain model containing three dimensional ground coordinates, Fiducial marks digitised interactively, Approximate fiducial marks in the digital image, Control points digitised in the photo print, Corresponding control points on the ground and Camera calibration report including parameters of inner orientation, calibrated focal length, principle point location, the value of lens distortions, calibrated fiducial marks in the distorted camera image, exterior orientation of the aircraft, e.g. flight height.

The usage of digital orthophotos is dependent upon having it produced to a known accuracy. The accuracy of digital orthophoto is related to following factors;

- Camera and focal length
- Magnification to out put scale
- Density ratios of diapositives or scanners resolution quality
- The quality of scanners while scanning raw data and their geometric accuracy
- The quality of scanned resembles which can be expressed with micron or dpi
- Differential rectification methods
- The dimension of out put pixel

- Radiometric correction
- Determining control points
- Variance in terrain or in buildings according to focal length
- Density and quality of digital elevation model (DEM) data

The orthophoto can be produced by means of two following production methods.

- *Pixel-by-pixel method:* In this method the local displacement vector, which is equivalent with the inverse distortion, is calculated for each pixel in accordance with the complete transformation formulas.
- *Anchor-point-method:* In this method the geometric transformation are applied to the DTM raster points only. During orthoprojection one obtain the rectification vector for a pixel by bilinear interpolation between the four neighbouring corners.

The aim of this study is to obtain an appropriate DEM which suits best to the surface and enable an orthophoto of best quality. For this purpose a computer program 3D-FOTO, which is written in Visual Basic 5.0 programming language, produces not only DEM's, but also makes points transfer, producing of necessary files for orthophoto production, visualisation of the terrain and finally all editing mechanisms for coordinates.

This PhD study consist of 7 chapter. In the first chapter the main idea and the purpose of the study was given. In the second chapter, the mathematical models of photogrammetry and central projection solution algorithms are examined. Solution algorithms of the photogrammetric process is described and given on the figure 1. In this chapter Collinearity and Complanarity condition of the photogrammetry are also given.

In the chapter three, description of orthophotos, mathematical means of rectifying and correction methods was given. The usage of digital orthophotos in different fields was being highlighted. The mathematical base of differential rectification is also included to this chapter.

Chapter four is basically related on digital orthophoto producing steps. In this chapter, different differential rectification such as pixel by pixel method and Anchor-point-method were studied. Also, scanning of the photographs, definition of the digital elevation model and digital ortophoto production program are explained in this chapter. The flowchart of the digital orthophoto software is given as figure 2.

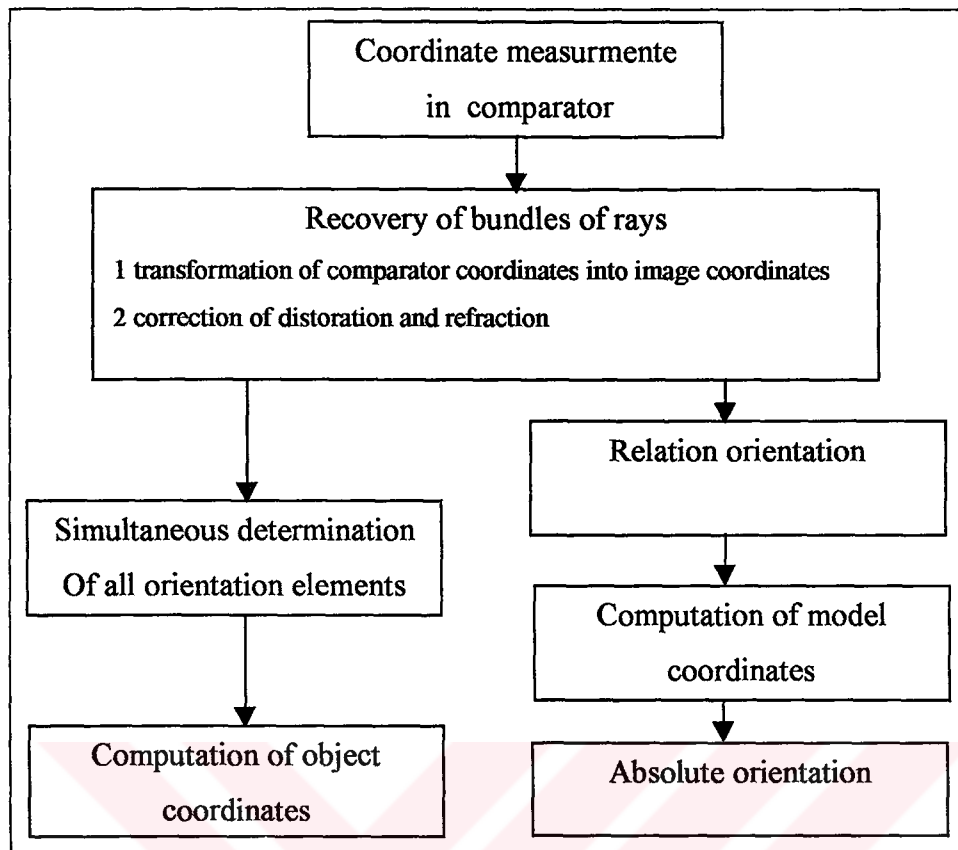


Figure 1. Solution algorithms of the photogrammetric process.

With the background and concepts of digital terrain model, data acquisition, data process, interpretation, visualisation and different application of the digital terrain models are examined in the chapter five. In this chapter also the interpolation methods were studied and the interpolation methods that were used in the study were examined briefly.

In chapter six, the application program which is written in Visual Basic 5.0 is investigated and, solution of the weighted average model is compared. Also, the PICTRAN digital photogrammetric software has been examined.

The results were obtained from the study and suggestions for the new studies were given in chapter seven.

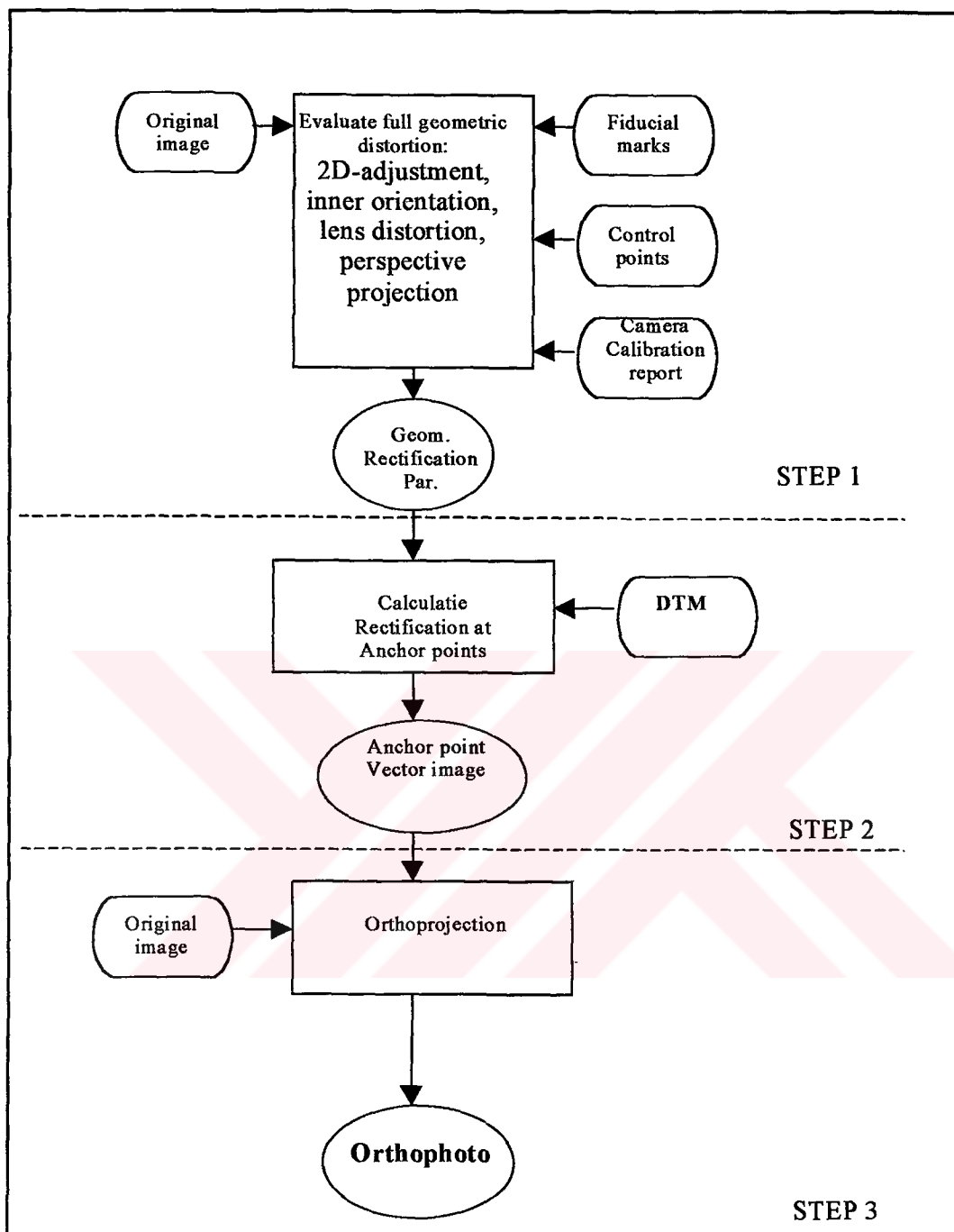


Figure 2. The flowchart of the digital orthophoto software.

1.GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Digital ortofotolar daha önce analog yöntemle elde edilen bilgilere dayanan ve daha sonra fotografik olarak gerekli düzeltmelerin yapıldığı klasik ortofoto üretimi yerini genellikle fotoğrafların bilgisayar destekli yazılımlar sayesinde arazi engebeleri ve fotoğraflardaki dönmeler nedeniyle oluşan yer değiştirmelerin geometrik olarak düzeltilmesi ve başlangıçtan sona kadar tüm uygulamaların digital ortamda yürütülmeye çalışıldığı yöntemler kümesi olarak tanımlanmaktadır. Scanner teknolojisi ve digital kameralardaki son gelişmeler digital ortofoto harita üretme sistemlerinde hızlı bir gelişme sağlamıştır. Digital formdaki çıktılar, görüntü işleme teknikleri sayesinde zenginleşmiştir. Digital ortofotoların sağladığı yeni ve önemli olanaklar; güçlendirilmiş görüntü kalitesi, görüntüleme, GIS ile entegrasyon ve bilgisayar destekli veri elde edilmesi işlenmesi ve sonuç ürünün çeşitli biçimde (analog veya digital) verilmesidir.

Digital fotoğraflar elde edildikten sonra ortofotoların üretilmesi sırasında bazı problemlerle karşılaşılır:

- görüntü işleme,
- kamera kalibrasyon raporu,
- resimlerin yöneltmesi ve üç boyutlu değerlendirilmesi,
- SYM değerlerinin hesaplanması ve en uygun matematik modelinin araştırılması,
- Otomatik olarak üçgenleme yapılması,
- Ortofoto üretilmesi.

Kaliteli bir ortofoto elde edebilmesi için ise diğer önemli etkenler değerlendirme yazılımı, SYM yazılımı ve ortofoto üretim yazılımıdır.

Bölüm 2’de fotogrametrinin Genel matematik esaslar ve çözüm algoritmaları verilmiştir. Bölüm 3’de düşeye Çevirme amacı, Genel teorisi, düşeye çevirmenin hata kaynakları ve doğruluğu verilmiştir. Bölüm 4’de ortofotoların yöntemleri ve üretim aşamaları verilmiştir.

Sayısal arazi modeli kavramı, enterpolasyon yöntemleri Bölüm 5’de verilmiştir. (Uygulamada kullanılacak sayısal arazi modeli enterpolasyon yöntemi bölüm 6’da incelenmiştir).

Bölüm 6’da Visual Basic 5.0 programlama dili kullanılarak yazılmış programının incelenmiş, ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon modelinin araştırılmış ve PICTRAN programı incelenmiştir. Bölüm 7’de uygulama sonucu elde edilen sonuçlar ve öneriler bulunmaktadır.

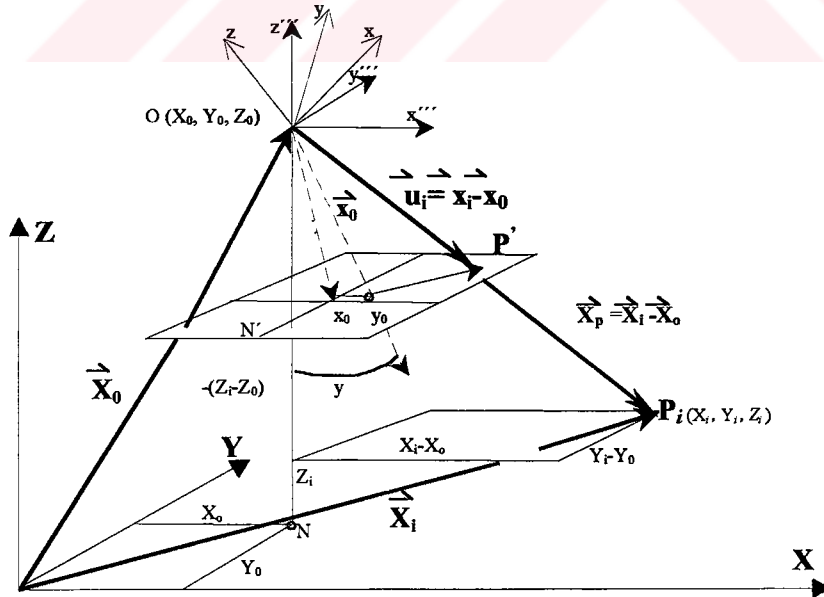
Bu çalışmanın amacı kaliteli ortofoto üretilmesi ve bu amaçla araziye en uygun SYM elde edilmesidir. Bu amaç için VB 5.0 programlama dili kullanılarak 3D-Foto diye isimlendirilen bir program yazılmış ve o program sadece SYM üretmekle kalmayıp aynı zamanda nokta dönüşümü, ortofoto programına gerekli dosyalar üretilmesi ve kolay şekilde istenen üç boyutlu arazi görüntüsünün izlenebilmesi ve bütün üç boyutlu koordinat editlemelerini yapabilmektedir. Bu nedenle çalışmanın içeriğinde yalnız digital ortofoto bulunmamakta aynı zamanda hazırlanan sayısal arazi programı ve bu programın çalıştırılması için ve çalıştırılması sırasındaki önerilerde eklenmektedir.

2.FOTOGRAMETRİNİN MATEMATİK ESASLARI:

Fotogrametrinin başlangıç amacı, yeryüzünün topografik yapısını elde etmek iken, bu amaç bugün yeni ve değişik birçok uygulama alanını içermektedir. Fotogrametri, genel anlamda havadan ve yerden çekilen resimler üzerinde ölçme, yorumlama ve değerlendirme yapılmasına olanak veren bir bilim dalıdır. Fotogrametrinin temel özelliği ölçmelerin doğrudan doğruya cisim üzerinde yapılması yerine, cismin üç boyutlu modeli üzerinde dolaylı olarak yapılmasıdır. Bu özelliğinden dolayı bu bilim pek çok alanda başarı ile uygulanmaktadır [3].

2.1 Genel Esaslar

Fotografik izdüşümün matematiksel olarak tanımlanabilmesi için bir çok sayıda model olmasına rağmen pratikte bu işlem ancak Merkezi İzdüşüm'ün (perspektif izdüşümün) kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir.



Şekil 2. 1 Merkezi izdüşüm

Merkezi izdüşüm; üç boyutlu uzaydaki noktaların bir düzleme, bu düzlem dışındaki bir noktadan geçen doğrular yardımı ile izdüşümüdür. İzdüşüren noktalar olan izdüşüm düzlemine gelen ışınlar izdüşüm veya görme ışınları adını almaktadır. Bu ışınlar resim düzlemini P' resim noktalarında kesmektedir. Taşıyıcılar, projeksiyon merkezi veya O perspektif merkezidir.

Merkezi İzdüşümün analitik olarak tanımlanması için p' resim noktaları ve bu noktalara arazide karşılık gelen P uzay noktaları arasındaki tek anlamlı ilişki belirlenmelidir. Bu ilişkinin belirlenmesi sırasında aşağıdaki özelliklerden yararlanılır.

Merkezi İzdüşümün Özellikleri:

1. Uzayın her P noktasına yalnız ve bir tek p' resim noktası karşılık gelmektedir.
2. Her p' resim noktasına $p'O$ doğrultusundaki bütün noktalar olmak üzere sonsuz sayıda P uzay noktası karşılık gelmektedir.
3. Uzayın g doğrularına O noktasını taşıyıcı kabul eden doğru demetinden başka g' resim noktaları karşılık gelmektedir. O noktasından geçen doğru demetinin doğruları nokta olarak izdüşüm verirler.
4. Her g' resim doğrusuna uzayın bir düzlemi karşılık gelmektedir.
5. Paralel uzay doğrularının resimleri paralel demetin sonsuz uzaktaki noktasının resmi olan F' firar noktasında kesişirler.
6. Uzaydaki doğru ve doğru demetlerindeki çifte oranlar izdüşümde kaybolmazlar.

Merkezi İzdüşüm de, izdüşümü oluşturan izdüşüm ışınlarının bütününe ışın demeti adı verilir. Bazı özel durumlar dışında paralel doğrular, paralel doğrular yerine ışın demeti olarak izdüşürülür. Demetin resim üzerindeki F' firar noktası aynı zamanda bu paralel doğrulara cisim uzayında paralel olan ve O izdüşüm merkezinden geçen doğrunun resim düzlemini deldiği noktadır[2] .

2.2 Kolinearite (Doğrusallık) Koşulu

Bir merkezi izdüşümde yukarıda söz konusu edilen özelliklerin yerine gelebilmesi için, O_i izdüşüm merkezi, p_{ij} resim noktası ve P_j yer noktasının bir doğru üzerinde bulunmaları gerekir. Şekil (2.1) de görülen X_{O1} ve u_j resim vektörleri aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\vec{X}_{0i} = \vec{X}_i - \vec{X}_0 = \lambda_i * \vec{u}_i \quad (2.1)$$

Burada λ ölçek katsayısı olup, $\vec{u}_i$ vektörü $\vec{X}_i - \vec{X}_0$ vektör farkına eşit olup (x''' , y''' , z''') sisteminde de gösterimi için dönüşüm yapılması gerekir. Bu dönüşüm;

$$\vec{u}_i = \underline{D} \cdot (\vec{X}_i - \vec{X}_0) \quad (2.2)$$

biçiminde $\underline{D}$ dönüşüm matrisi ile gerçekleşir. $\underline{D}$ matrisi 3*3 boyutundadır. Yukarıdaki dönüşüm bileşenlerine ayrılarak yazılmak istenirse;

$$\begin{bmatrix} x''' \\ y''' \\ z''' \end{bmatrix} = \underline{D} \cdot \begin{bmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \\ -c \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Bu eşitlik kolinearite koşulunda yerine konulursa;

$$\vec{X}_{0i} = \lambda_i \cdot \underline{D} \cdot (x_i - x_0) \quad (2.4)$$

veya bileşenlerine ayrılarak yazılacak olursa;

$$\begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{bmatrix} = \lambda_i \cdot \underline{D} \cdot \begin{bmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \\ -c \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

veya $\underline{D}$ matrisi elemanları genel gösterim ile;

$$\underline{D} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1^T \\ a_2^T \\ a_3^T \end{bmatrix} = [a_1 \quad a_2 \quad a_3] \quad (2.6)$$

ve orta nokta ile ana noktanın çakıştığı varsayılırsa $x_0 = y_0 = 0$ basitleştirilmesi ile;

$$X_i - X_0 = \lambda_i \cdot a_1^T \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{bmatrix} \quad (2. 7)$$

$$Y_i - Y_0 = \lambda_i \cdot a_2^T \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{bmatrix} \quad (2. 8)$$

$$Z_i - Z_0 = \lambda_i \cdot a_3^T \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{bmatrix} \quad (2. 9)$$

veya ölçek çarpanının yok edilmesi ile; ilk iki eşitlik üçüncü eşitlik ile bölünecek olursa;

$$\frac{X_i - X_0}{Z_i - Z_0} = \frac{a_{11} \cdot x_i + a_{12} \cdot y_i - a_{13} \cdot c}{a_{31} \cdot x_i + a_{32} \cdot y_i - a_{33} \cdot c} \quad (2. 10)$$

$$\frac{Y_i - Y_0}{Z_i - Z_0} = \frac{a_{21} \cdot x_i + a_{22} \cdot y_i - a_{23} \cdot c}{a_{31} \cdot x_i + a_{32} \cdot y_i - a_{33} \cdot c} \quad (2. 11)$$

temel bağıntısı elde edilir. Bu bağıntı fotogrametrinin temel matematiksel bağıntısı olup, genel biçimi ile;

$$(\vec{X}_i - \vec{X}_0) = \lambda_i \cdot \underline{D} \cdot (\vec{X}_i - \vec{X}_0) \quad (2. 12)$$

yazılır. Eşitliğin sol tarafına resim koordinatları getirilecek olursa,

$D^{-1} = D^T$ olduğundan (ortogonal matris);

$$\vec{x}_i - \vec{x}_0 = \frac{1}{\lambda_i} \cdot D^T \cdot (\vec{X}_i - \vec{X}_0) \quad (2. 13)$$

elde edilir. Bu bağıntıda da $x_0 = y_0 = 0$ olduğu kabul edilerek;

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda_i} \cdot \underline{D}^T \begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

veya bu matris eşitliğindeki birinci ve ikinci denklem üçüncü denkleme bölünürse;

$$x_i = -c \cdot \frac{a_{11} \cdot (X_i - X_0) + a_{12} \cdot (Y_i - Y_0) - a_{13} \cdot (Z_i - Z_0)}{a_{31} \cdot (X_i - X_0) + a_{32} \cdot (Y_i - Y_0) - a_{33} \cdot (Z_i - Z_0)} \quad (2.15)$$

$$y_i = -c \cdot \frac{a_{21} \cdot (X_i - X_0) + a_{22} \cdot (Y_i - Y_0) - a_{23} \cdot (Z_i - Z_0)}{a_{31} \cdot (X_i - X_0) + a_{32} \cdot (Y_i - Y_0) - a_{33} \cdot (Z_i - Z_0)} \quad (2.16)$$

elde edilir.[2]

2.3 Koplanearite (Eşdüzlemlilik) Koşulu

Fotogrametrinin ikinci temel denklemini elde edebilmek için stereoskopinin temeli olan resim çiftinden hareket edilir. Bunun için aynı cisim noktası P'yi gören iki resim arasında $\vec{B}$ bazı ve bu resimlerin resim çekim noktalarından bu p resim noktasına giden $\vec{A}$ ve $\vec{C}$ olsun. Bir resim çiftinde herhangi bir yer noktasının iki resimdeki vektörü $\vec{A}$ ve $\vec{C}$ ile her iki resmin $\vec{B}$ baz vektörünün bir düzlemde olması gerekir.

Bu koşul her üç vektörden oluşturan üçyüzlünün V hacminin sıfır olması şeklinde matematik olarak deyimlendirilir:

$$V = \vec{B} \cdot (\vec{A} \cdot \vec{C}) \quad (2.17)$$

Bu üç vektörün bileşenleri;

$$\vec{A} = (X' \cdot Y' \cdot Z') \quad (2.18)$$

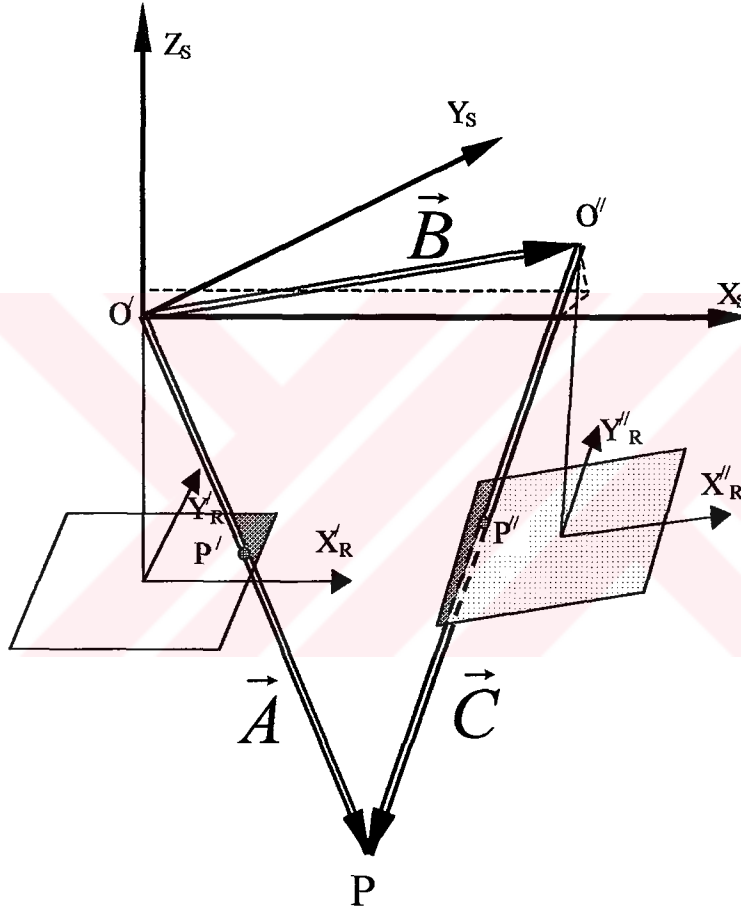
$$\vec{B} = (B_x, B_y, B_z) \quad (2.19)$$

$$\vec{C} = (X'' \cdot Y'' \cdot Z'') \quad (2.20)$$

olduğuna göre; V hacminin sıfır olma koşulu:

$$\begin{bmatrix} B_x & B_y & B_z \\ X' & Y' & Z' \\ X'' & Y'' & Z'' \end{bmatrix} = 0 \quad (2.21)$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 2. 2 Koplenarite Koşulunda Vektörler

Bilinenler ise her iki resim üzerindeki (x_R', y_R') , ve (x_R'', y_R'') , koordinatlarıdır. Eğer model koordinat sisteminin eksenleri birinci resmin eksenlerine paralel seçilecek olursa;

$$\begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & B_z \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_R'' \\ Y_R'' \\ Z_R'' \end{bmatrix} = \bar{D} \cdot \begin{bmatrix} X_R'' \\ Y_R'' \\ Z_R'' \end{bmatrix} \quad (2. 22)$$

Dönüşüm yapılması gerekir.

$\bar{D}$ dönüşüm matrisi ortogonal olduğundan elemanları arasında 6 ortogonalite koşulu vardır, bu nedenle bilinmeyen sayısı 3'e inmekte olup, bunlar da koordinat eksenleri etrafındaki ω , φ , χ dönmeleridir. Koplenarite koşulunda $X' = X_R'$ $Y' = Y_R'$ $Z' = Z_R'$ yazılırsa;

$$\begin{aligned} & B_x[Y'(a_{31}X_R'' + a_{32}Y_R'' + a_{33}f) - Z'(a_{21}X_R'' + a_{22}Y_R'' + a_{23}f)] \\ & - B_y[X'(a_{31}X_R'' + a_{32}Y_R'' + a_{33}f) - Z'(a_{11}X_R'' + a_{12}Y_R'' + a_{13}f)] \\ & + B_z[X'(a_{21}X_R'' + a_{22}Y_R'' + a_{23}f) - Y'(a_{11}X_R'' + a_{12}Y_R'' + a_{13}f)] = 0 \end{aligned} \quad (2. 23)$$

elde edilir. Lineer olmayan bu denklem $B_x, B_y, B_z, \omega, \varphi, \chi$ 'ya göre kısmi türevleri alınarak Taylor serisine açılır

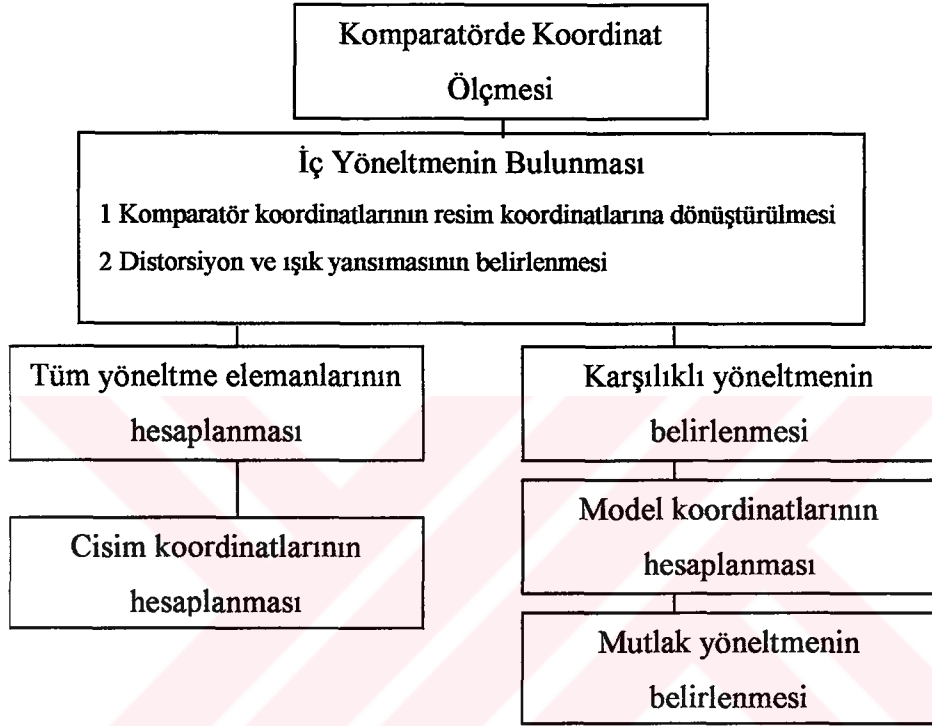
$$\left(\frac{\partial F}{\partial B_y}\right)_0 \cdot dB_y + \left(\frac{\partial F}{\partial B_z}\right)_0 \cdot dB_z + \left(\frac{\partial F}{\partial B_\omega}\right)_0 \cdot dB_\omega + \left(\frac{\partial F}{\partial B_\varphi}\right)_0 \cdot dB_\varphi + \left(\frac{\partial F}{\partial B_\chi}\right)_0 \cdot dB_\chi + (F)_0 = V \quad (2. 24)$$

Düzeltilme denklemi elde edilir. $(F)_0$ fonksiyonun yaklaşık değerlerinin fonksiyonda yerine konulması ile elde edilen değerdir. 5'ten fazla nokta alınması durumunda en küçük kareler yöntemine göre dengeleme yapılır.[3]

2.4 Çözüm Algoritmaları

Daha önceki bölümlerde ele alınan kolinearite ve koplenarite denklemleri ana ölçme değeri olan cisim görüntülerinin resim koordinatları ve bu görüntülerin karşılık gelen cisim noktalarının koordinatları arasındaki bağıntıyı ortaya koymaktadır. Bu işlemlerin temeli resim koordinatları ile başlayan matematik modellerle değerlendirmeye dayanmaktadır. Klasik olarak resim koordinatlarının ölçülmesini iç yöneltme elemanlarının belirlenmesi ve buna bağlı olan dönüşüm izler. Bundan sonra

iki temel yaklaşım söz konusu olup, birinci yol tüm yöneltme elemanlarının birlikte hesabı, ikinci yol ise, stereo-modelin oluşturulmasını hedefleyen karşılıklı yöneltme ile ilk adım model koordinatlarının hesaplanmasını hedefleyen ikinci adımdan oluşur. Her iki yaklaşımda da sonuçta cisim koordinatlarının üç boyutlu koordinatları elde edilmektedir.



Şekil 2. 3 Fotogrametride çözüm Algoritmaları

3.DÜŞEYE ÇEVİRME YÖNTEMLERİ

3.1 Düşeye Çevirmenin Amacı ve Genel Teorisi

Bir cismin tek bir ölçme resminden yeniden elde edilmesinin cismin ancak iki boyutlu nokta dağılımına sahip olduğu durum için mümkündür. Bu durumda cisim bir bölüm olarak veya parça parça sürekli analitik fonksiyonlar yardımıyla tanımlanabilir, bir başka deyişle cisim yeniden elde edilir [2,10].

Düşeye Çevirme için kullanılan yöntemler;

- Hesap ile
- Grafik düşeye çevirme
- Optik düşeye çevirme (Perspektif izdüşüm veya Keskin izdüşüm)

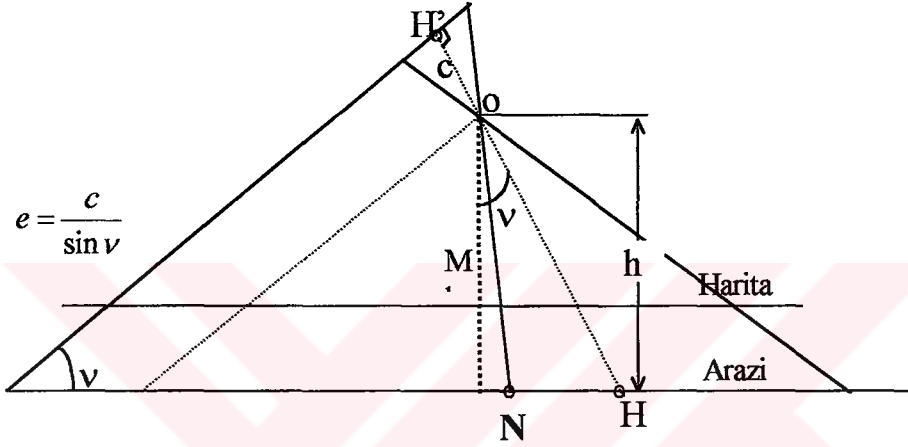
Optik Düşeye Çevirmede, problemin fotogrametrik olarak ele alınması sırasında iki düzlemin verilen f odak uzaklıklı bir objektif yardımıyla birbiri üzerine izdüşürülmesi gerekmektedir. İzdüşüm ancak resim ve cisim düzleminin, objektifin resim ve cisim yönündeki ana düzlemlerini eşlenik doğrular boyunca kesmeleri halinde mümkündür. Ana düzlemler genellikle yanyana bulunduklarından ve objektifin orta düzlemi ile yer değiştirebileceklerinden, cisim düzlemi, resim düzlemi ve objektif orta düzleminin bir doğru boyunca kesişmelerini gerektirmektedir.

Perspektif İzdüşümde, ölçme kameralarında resim düzlemi ile objektifin ana düzlemi daima paralel olduklarından, kesişme doğruları koşulu ancak yatay arazinin mutlak düşey resim çekimleri için sağlanmaktadır. Bu durumda her üç düzlemin kesişme doğrusu sonsuzda bulunmaktadır. Keskin izdüşüm; cisim düzlemi, resim düzlemi ve objektifin orta düzleminin bir doğru boyunca kesişmelerini gerektirir. Düşeye çevirme için ortaya konan kesişme doğruları koşuluna ‘Scheimpflug koşulu’ denilmektedir.

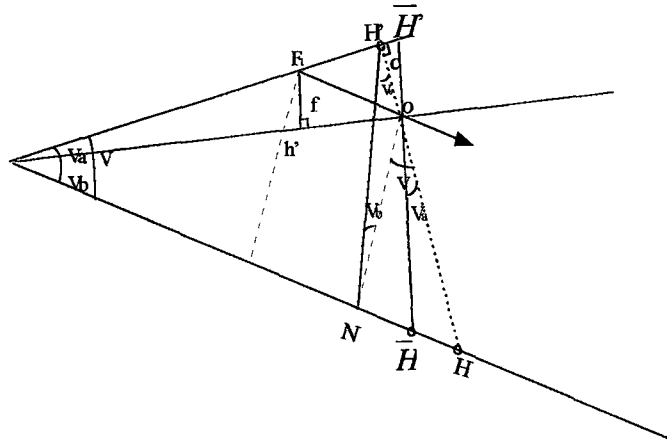
Bu işlem her defasında geçerli projeksiyon ölçeği, projeksiyon objektifi ve düşeye çevirme düzlemi arasındaki rölatif uzaklığa değişken h' uçuş yüksekliğinin ayarlanmasıyla elde edilir.

$$\frac{\sin v_a}{\sin(v - v_a)} = \frac{c}{h'}$$

$$ctg v_a = \frac{h' + c \cos v}{c \sin v} \quad v_b = v - v_a \quad (3.1)$$



Şekil 3. 1 Düz arazinin eğik resim çekimi .[2, s 185]



Şekil 3. 2 Eğimin sabit olması durumunda değişme

3.2 Diferansiyel Düşeye Çevirme

Düşeye çevirme yöntemleri yaklaşık olarak düz olan arazinin hava resminin düşeye çevrilmesi için sınırlandırılmış ve dalgalı arazi için harita oluşturulması durumunda geçerli olmamaktadır [10, s 301-313]. Bu doğrultuda ilk adım arazi yüzeyinin farklı konum ve eğimde kısmi parçalara ayrılmasıdır. Keyfi arazi yüksekliği durumunda h uçuş yüksekliği büyüklüğünün izdüşüm denklemleri ile ölçek fonksiyonunda bir sabit olmadığı ve yüzey elemanından yüzey elemanına değiştiği göz önüne alınmalıdır. Bu durumda tüm resmin aynı anda düşeye çevrilmesi yerine yüzey elemanlarına göre değişken ölçekte diferansiyel düşeye çevirme gerçekleştirilmiş olur.

Bu yöntemde, tüm resmin her defasında küçük parçalarının düşeye çevirme düzlemine izdüşürülmesi gerektiğinden problem optik keskin izdüşüme dönüşmektedir. Hava resminin iç ve dış yöneltmesi yeniden elde edilebilmektedir; değişken odak uzaklığı ile her defasında gerekli projeksiyon uzaklığına uyandırılan ön sistem, düşeye çevrilmesi gerekli resim parçasının keskin izdüşümünü sağlamaktadır. Bu işlem her defasında geçerli projeksiyon ölçeği, projeksiyon objektifi ve düşeye çevirme düzlemi arasındaki rölatif uzaklığa değişken h' uçuş yüksekliğinin ayarlanmasıyla elde edilir. Bu nedenle diferansiyel düşeye çevirme arazi yüksekliklerinin bilinmesini şart koşar.

Arazi modelinin diferansiyel olarak ele alınması sistematik bir şekilde paralel şeritlerle yapılır; düşeye çevirmede bunlara genişlikleri arazi kesitine eşit olan izdüşüm şeritleri karşılık gelir. Diferansiyel Düşeye Çevirme işleminde yapılan, fotoğrafın küçük bir parçasını birim eleman olarak kabul edip, düşeye çevirme işlemini bu birimler üzerinde biribiri arkasına gerçekleştirmek ve düzlemdeki veya izdüşüm cismi elemanındaki yükseklik değişimlerine bağlı olarak düşey olarak hareket ettirmektir. En çok rastlanan yapı çizgi şeklinde olandır. Bu da uzunluğu

tanımlanmış bir yarıktır. Her eleman için ayrı düşeye çevirme uygulanabilir. Elemana ait arazi yaklaşık olarak eğik bir düzlem olarak kabul edilir.

Diferansiyel düşeye çevirme fotoğraf ve düşeye çeviren düzlem arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Burada merkezi izdüşüm ve fonksiyonel projeksiyon kullanılmaktadır. Sınıflandırma, görüntü projeksiyonu sırasındaki tekniklere bağlı olarak yapılabilir. Bunun için optik izdüşümde ve elektronik izdüşümde resim çekim merkezi bölümleri bulunmaktadır. Elektronik sistemlerde düşeye çevirmede genellikle ışık kaynağı olarak katod ışın tüpleri kullanılmaktadır. Diferansiyel düşeye çevirme, çevirim içi ve çevirim dışı olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sistemin stereoplotter'a direkt olarak bağlanıp bağlanmaması ile ilgili bir sınıflandırmadır. Çevirim içi durumda ortofoto aletleri tarama için doğrudan stereoplotter tarafından kontrol edilir. Çevirim dışı durumda ise kesitlerin yükseklik değişim bilgileri stereo-plotter tarafından tarama yardımıyla ilk önce kaydedilir daha sonra depolanmış veri ortofoto aleti tarafından kullanılır.

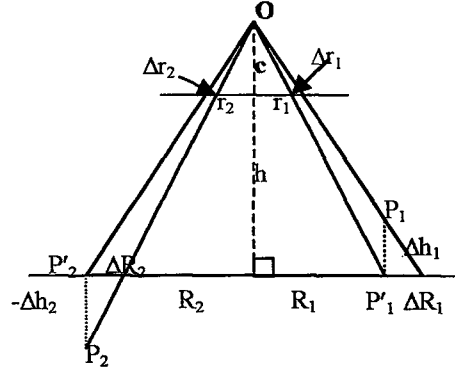
3.3 Düşeye Çevirmenin Doğruluğu ve Hata Kaynakları

Bir hava resminin önceden verilen kontrol noktalarına perspektif olarak yerleştirilmesinde ki belirsizlik ve hataların ana kaynağı, yatay bir arazi düzleminde yükseklik farklarının meydana gelmesidir. Bu durum plan düzlemindeki noktalara göre resim noktalarının ışınsal olarak ötelenmelerine yol açmaktadır. Bu ötelenmenin değeri düşeye çevirmenin ana denkleminin h' göre diferansiyelinin alınması ile bulunabilir.

r radyal uzaklığında herhangi bir resim doğrultusu için

$$\Delta r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = (\Delta h/h) * \sqrt{x^2 + y^2} = \Delta h * (r/h) \quad (3.2)$$

olarak bulunur.



Şekil 3.4 Arazideki yükseklik farkları nedeni ile ışınsal resim ötelenmeleri [2]

M_k ölçeği ile düşeye çevirme düzleminde $\Delta r'$ ışınsal ötelemeleri için

$$\begin{aligned}\Delta r' &= \Delta h \frac{r'}{h} \\ r' &= \frac{r}{c} M_k h \\ \Delta r' &= \frac{r}{c} M_k \Delta h\end{aligned}\tag{3.3}$$

şekline dönüştürülebilir. Eğer düşeye çevirme düzleminde $\Delta r'_{\max}$ (mm) değerindeki bir maksimum nokta ötelenmesine izin verilecek olursa, (3. 3)'dan arazide izin verilebilecek maksimum yükseklik farkı $\Delta h_{\max}$ (m) olarak

$$\Delta h_{\max} = \frac{m_k c}{1000 r} \Delta r'_{\max}\tag{3.4}$$

Tablo 3. 1 Düşeye çevirme ölçeği için maksimum yükseklik farkları [10]

Mk	$\Delta h_{\max}$	
	Normal açı	Geniş açı
1: 5 000	10m	7m
1: 10 000	20m	15m
1: 25 000	50m	37m
1: 50 000	100m	75m

Bu nedenle düşeye çevirme tekniği yönünden büyük odak uzaklıklı kameralar geniş açılı kameralara göre daha avantajlıdır. Düşeye çevirmedeki diğer hatalar çekim ve düşeye çevirme objektifi arasındaki distorsiyon farklarından, yöneltmelerin hassasiyetinden veya fotoğraf tabakası taşıyıcısının üniform olmayan büzölmelerinden meydana gelebilir. Bu hataların her birinin aynı anda etkimesi durumunda arazi yükseklik farkları nedeniyle oluşacak ötelenme hatalarını geçmemesi ve sonuçta resim planında + 0.1mm'den 1.0 mm kadar olan konum doğruluğunun aşılmaması gerekir.

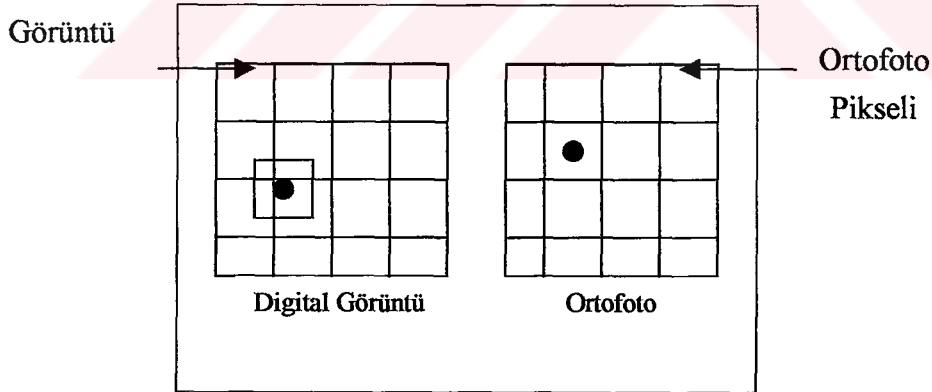


4. ORTOFOTOLARIN ÜRETİM AŞAMALARI

Digital ortofo üretim aşamalarını incelemeden önce, digital ortofo üretim yöntemleri açıklanması gerekir.

4.1 PİKSEL PİKSEL DİFERANSİYEL DÜŞEYE ÇEVİRME

Bu yöntem daha önce Bölüm 3.2 Diferansiyel Düşeye Çevirme de anlatılan arazinin dalgalı olması durumunda analog olarak kısmi arazi parçalarının düşeye çevrilmesi işleminin bu kez en küçük resim elemanı olan pikseller yardımı ile yapılmasıdır. Pİksel piksel diferansiyel düşeye çevirmede, ortofotolardaki her pikselin konumu ve merkezi digital görüntüde belirlenir [17,12]. Daha sonra bu görüntü, merkezi pikseller olan ortofotoya dönüştürülür. Bu digital ortofo üretiminin kısa bir açıklamasıdır.



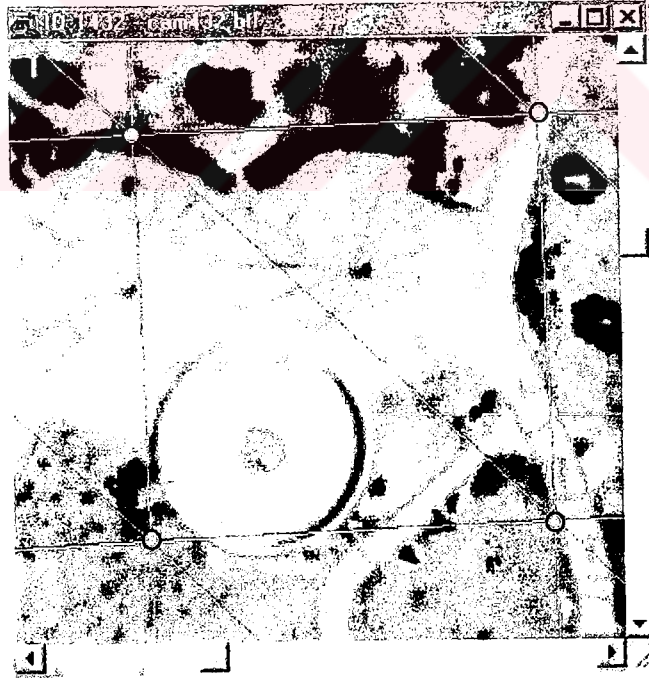
Şekil 4. 1 Görüntü pikselini ortofoto pikseline dönüştürme işlemi [17,12]

Bu yöntem sonuç görüntülerinden orijinal görüntü elde edildiğinden indirekt yöntem olarak adlandırılmaktadır. Noktaların arazi yükseklikleri olan Z , komşu SYM noktaları enterpole edilerek bulunur. Distorsiyonun tersine eşit olan bölgesel yerdeğiştirme vektörü tam dönüşüm formülleri göz önüne alınarak her piksel için tek tek hesaplanmalıdır. Eğer sayısal yükseklik modeli yüksek presizyonla elde edilmiş ve

örnekler de yeteri kadar yakın seçilmişse yüksek kalitede ortofotolar elde edilebilir. Görüntü koordinatları x' , y' kolinarite denklemleri yardımı ile arazi koordinatları (X , Y , Z)'den hesaplanır. Piksel koordinatları r , c (row, coloumn : satır, sütun) afin transformasyonu kullanılarak x' , y' görüntü koordinatlarından elde edilir. Bundan sonra da komşu piksellerdeki radyometrik değerler de dikkate alınarak radyometrik düzeltme yapılır. Sonuç, konumlandırılmış, radyometrik olarak enterpole edilmiş ve ortofoto matrisi haline getirilmiş görüntü değerleridir. Bu işlem tüm ortofoto pikselleri için uygulanacağından, yöntem kullanılan bilgisayarın kapasitesine bağlıdır. Fakat bu yöntem sabit nokta yöntemine göre daha presizyonludur.

4.2 Sabit Nokta Yöntemi ile Diferansiyel Düşeye Çevirme

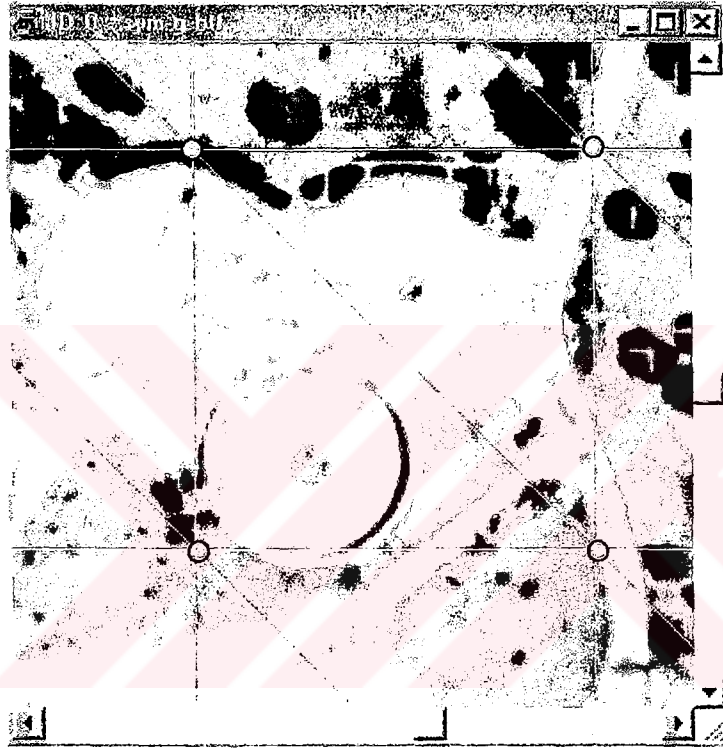
Bu yöntemde noktalar ağı ortofoto üzerine yerleştirilir. Basit olması amacı ile SYM gridleri ağ olarak kullanılabilir. Yersel fotogrametrik resimler için ise SYM yerine üçgenleme kullanılması daha uygundur. Ortofotonun görüntü koordinatları iki adımda hesaplanır.



Şekil 4. 2 Ham resim ve grid ağı görüntüsü
(İTÜ Ayazağa Kampüsü test bloku resimlerinden bir parça)

Birinci adımda SYM noktaları kolinarite denklemleri kullanılarak digital görüntü üzerine izdüşürülür. Geometrik transformasyon sayısal yükseklik modeli raster noktalara uygulanmaktadır. Ortofoto projeksiyon sırasında dört komşu grid köşesi bilinear enterpole edilerek her piksel için geometrik düzeltme vektörleri elde edilir.

Bu adımdan sonra düzlem bilinear dönüşüm denklemleri tüm görüntü piksellerini dönüştürmek için kullanılır.

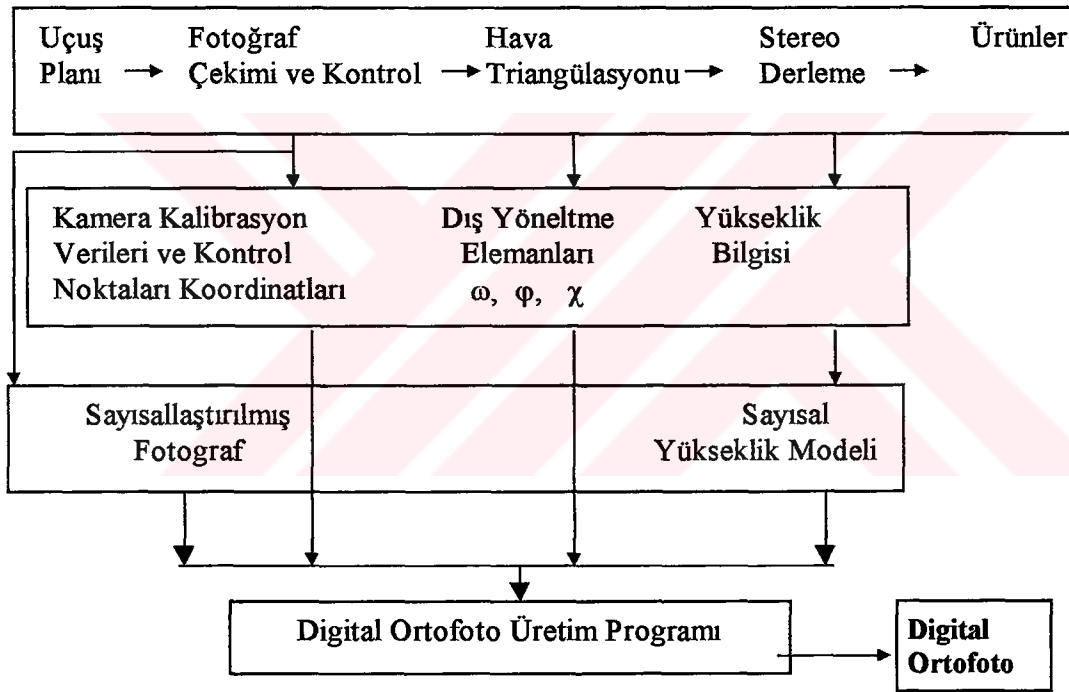


Şekil 4. 3 Aynı resim (şekil 4.2) Ortofoto ve grid ağı dönüştürdükten sonraki durum

Sabit Noktalar Yöntemi, Piksel Piksel Diferansiyel Düşeye Çevirme Yöntemi ile karşılaştırıldığında basit bir yöntem olmasına rağmen çok sayıda noktada uzaysal kolinarite koşulu kullanılamaz. Bunun yerine basit düzlem ilişkiler kullanılır. Bu yaklaşım DTM grid aralığına, grid köşeleri arasındaki yükseklik farkına, ilgili gridin izdüşüm merkezine ve görüntü ölçeğine bağlıdır. Piksel Piksel Diferansiyel Düşeye Çevirme Yöntemi, Sabit Noktalar yöntemine göre ek bazı hesaplamalar gerektirdiğinden diferansiyel düşeye çevirme iki kat daha fazla zaman almaktadır. Bu nedenle piksel piksel diferansiyel ortofoto yöntemi arazi yüzeyinin dalgalı

olduğu durumlarda, örneğin dağlık bölgelerde tercih edilmelidir. Düzgün yüzeylerde sabit noktalat yöntemi yeterlidir.

Ortofoto üretilebilmesi için ilk olarak uçuş planı hazırlanır, ondan sonra kamera kalibrasyonu yapıldıktan sonra fotoğraf çekilir. Çekilen resimler digital ise iç ve dış yöneltme yapılır, değilse banyo yapıldıktan sonra fotoğrafı sayısallaştırılmasıdır. Yöneltme bittikten sonra noktalar ölçülür, ve sayısal yükseklik modeli yapılır, ve arazi ne kadar daha iyi temsil edilirse, üretilecek ortofoto doğruluğu o kadar artar. En son adım digital ortofoto üretim programıdır.



Şekil 4. 4 Digital ortofoto üretimi için akış diagramı [11]

4.3 Kameraların Kalibrasyonu

Bilgisayar görüntüsü ile yapılan uygulamaların çoğu, görüntü alan kameralarla elde edilen görüntülerden, üç boyutlu geometrik bilgilerin doğru olarak elde edilmesi ile ilişkilidir. Geometrik özelliklerin doğruluğunun belirlenmemesi ve ideal görüntü sistemindeki geometrik sapmalar, elde edilecek üç boyutlu bilgilerin doğruluğu için kalibrasyonu gerektirir.

En doğru ve çok yönlü fotogrametrik konumlandırma cisim koordinatlarını belirleme, cismin parametrik tanımı, kameranın yöneltmesi ve konumlandırılması ve kalibrasyonu kameranın geometrik olarak ideal görüntüleme sisteminden, geometrik sapmalarının belirlenmesi demet dengelemesi yöntemi ile self-kalibrasyondur.

4.3.1 Self-kalibrasyon ile Demet Dengelemesi

Self-kalibrasyon ile demet dengelemesinin matematik modeli, ideal görüntüleme sistemindeki sapmaların geometrik etkilerini de içeren kolinearite koşuluna dayanır.

$$F_x = (x - x_p) = -c \frac{U}{W} + \Delta x \quad (4.1)$$

$$F_y = (y - y_p) = -c \frac{V}{W} + \Delta y \quad (4.2)$$

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = D \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

x, y	resim koordinatları
x_p, y_p, c	iç yöneltme elemanları
X, Y, Z	noktanın cisim koordinatları
D	3*3'lük ortogonal dönme matrisi
X_0, Y_0, Z_0	İzdüşüm merkezinin cisim koordinatları
$\Delta x, \Delta y$	ek parametreler grubunun düzeltme değerleri

İç yöneltme elemanlarının (x_p, y_p, c) izdüşüm merkezinin resim koordinat sistemindeki konumunu temsil eder. Dış yöneltme elemanları ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \chi, \lambda_0$) ise izdüşüm merkezinin cisim uzayındaki konumu ile belirlenir ve resim koordinat sistemini, cisim koordinat sistemine göre yöneltir. Perspektif geometriden sapmanın geometrik etkilerini tanımlayan ek parametreler modeli ise sistematik

hatalar olarak adlandırılır. Kameranın özelliklerini tanımlayan ek parametreler iç yöneltmenin bir parçası olarak kabul edilebilir.

Digital görüntü ölçmeleri piksel koordinat sistemine dayanır. Resim koordinatları ile piksel koordinatları arasındaki ilişki piksel koordinat sisteminden, resim koordinat sistemine dönüşüm (transformasyon) ile belirlenir. Piksel koordinat sisteminde x eksen yatayda, y eksen de düşeyde tanımlanır.

$$x = (x' - x'p)psx \quad y = (y'p - y')psy \quad (4.4)$$

x', y' piksel koordinatları,
 $x'p, y'p$ ana noktanın piksel koordinat sistemindeki konumu,
 psx, psy x ve y doğrultusundaki piksel aralığı.

İç yöneltme elemanları ve piksel koordinat sisteminden resim koordinat sistemine transformasyon parametrelerinin yaklaşık değerleri, mercek, kamera ve görüntü taşıyıcı tanımlamalarında hesaplanır.

Ek parametreler grubu, değişik isteklere cevap verecek şekilde oluşturulabilir. Distorsiyon gibi sistematik hata karakteristiklerinin model içine alınmasıyla çok sayıda deformasyon önlenir. Parametre grubunun seçimi uygulamanın türüne ve beklenen doğruluğa bağlıdır. Çok sayıdaki projede başarıyla uygulanabilecek olan aşağıdaki ek parametre grubu CCD kameraların ve merceklerin fiziksel özelliklerini de kapsar.

$$\Delta x = \Delta x_p - \frac{\bar{x}}{c} \Delta c - \bar{x} Sx + \bar{y} a + \bar{x} r^2 K_1 + \bar{x} r^4 K_2 + \bar{x} r^6 k_3 + r^2 + 2\bar{x}^2 p_1 + 2\bar{x} \bar{y} p_2 \quad (4.5)$$

$$\bar{x} = x - x_p, \quad \bar{y} = y - y_p, \quad r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (4.6)$$

$$\Delta y = \Delta y_p - \frac{\bar{y}}{c} \Delta c + \bar{x} a + \bar{y} r^2 K_1 + \bar{y} r^4 K_2 + \bar{y} r^6 k_3 + 2\bar{x} \bar{y} p_1 + r^2 + 2\bar{y}^2 p_2 \quad (4.7)$$

$\Delta x_p, \Delta y_p, \Delta c$	: iç yöneltme elemanlarının değişimi
S_x	: x yönündeki ölçek
a	: kesme kriteri
$K1, K2, K3$	: simetrik radyal distorsiyon fonksiyonunun ilk üç parametresi
$P1, P2$	: dağılımlı distorsiyon fonksiyonunun ilk iki parametresi

Her kamera yada görüntü taşıyıcı (frame grabber) için ana noktanın konumu belirlenmelidir. Her bir görüntü taşıyıcısının çeşitli piksel görüntüsü vardır. Ayrıca resim merkezinin etrafında 40'ın üzerinde piksel vardır. x yönündeki ölçek (S_x) modeli farklı olarak etkiler.

Tüm ek parametrelerin, verilen cisim ve görüntü noktalarında hesaplanması gerekmez. Belirlenemeyen parametreler sonuçların doğruluğunu düşürebilir. En genel durum, resimde algılayıcıya paralel olarak seçilen noktalar yardımı ile kamera sabitinin belirlenmesidir. Dış yöneltme elemanları ve cisim noktası koordinatları ile ek parametre arasındaki korelasyon, bu parametrelerin görüntü ile olan ilişkisini verir. Bu gibi durumlarda bu parametrelerin fiziksel yorumu zordur. Aşın kalibrasyonu ve ölçülmesinde kullanılan yöntemler, öncelikle görüntü için gerekli olan ek parametrelerin belirlenmesi ve doğruluk değerlendirmesi için kullanılabilir.

4.4 Fotoğrafın Sayısallaştırılması

Resimlerin bilgisayar ortamına aktarılması, yani taranması işlemi sırasında taranacak piksel boyutu, buna karşılık taranmış fotoğrafın ölçeği ve sonuç ortofotonun istenen ölçeği arasındaki ilişki kaliteyi etkilemektedir.

En iyi yöntem fotoğraf ölçeğinden, sonuç ortofoto ölçeğine yaklaşık 240 kez(dpi) büyütme oranı ile taramaktır. 5 kez büyütme için $5 \times 240 = 1200$ dpi'lık tarama, 7 kez büyütme için $7 \times 240 = 1680$ veya daha presizyonlu tarama gerekmektedir. Bu oranlara mümkün olduğu kadar sadık kalınarak yüksek kaliteli ürünler elde etmek mümkündür. Ortofotonun kapladığı alanın parametreleri ve piksel boyutu belirlenmeli, ortofoto bunlara göre oluşturulmalıdır[15] .

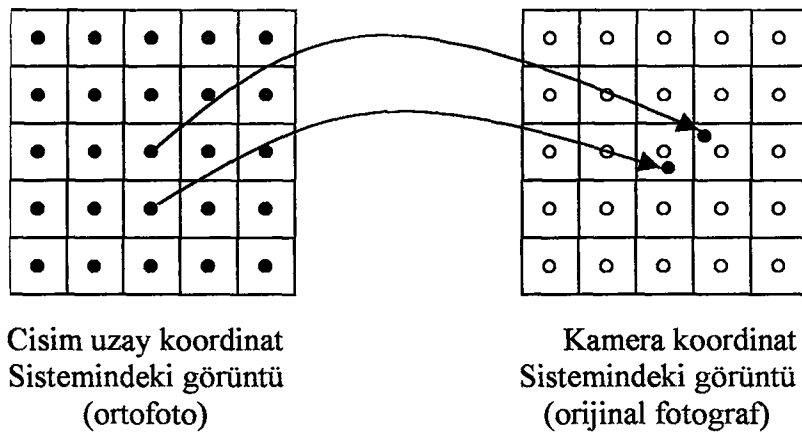
4.5 Sayısal Yükseklik Modeli

Araziyi tek bir matematik modeli ile temsil edilmesi mümkün değildir, bu yüzden araziye en yakın ve en uygun matematik model araştırılmalıdır. Sayısal Yükseklik Modeli geniş bir biçimde 5. ve 6. bölümünde araştırılacaktır.

4.6 Digital Ortofoto Üretim Programı

Digital ortofotoların üretimindeki ana işlem kamera koordinat sistemindeki görüntü matrisinin, uzay koordinat sisteminin XY-düzlemine dönüştürülmesidir. Sayısal ortofotoların üretimi, istenen görüntü matrisinin uzay koordinat sisteminin XY-düzleminde tanımlanması ile başlar. Daha sonra piksel merkezlerinin kamera koordinat sistemine atılması işlemi gerçekleştirilir.

Bu dönüşüm için XY düzleminde bulunan ağ noktalarının Z değerleri gerekir. Bunun için analitik stereo çizicilerde toplanan veya başka yollar ile toplanmış sayısal arazi modelleri kullanılabilir. Eğer ortofoto üretiminde kullanılacak görüntülerin iç ve dış yöneltme parametreleri biliniyorsa merkezi izdüşüm eşitlikleri ile piksel merkezleri orijinal sayısal görüntüye dönüştürülebilir. Bu işlem sırasında mercek distorsiyonu ve ışın kırılma düzeltilmesi de getirilebilir[9].

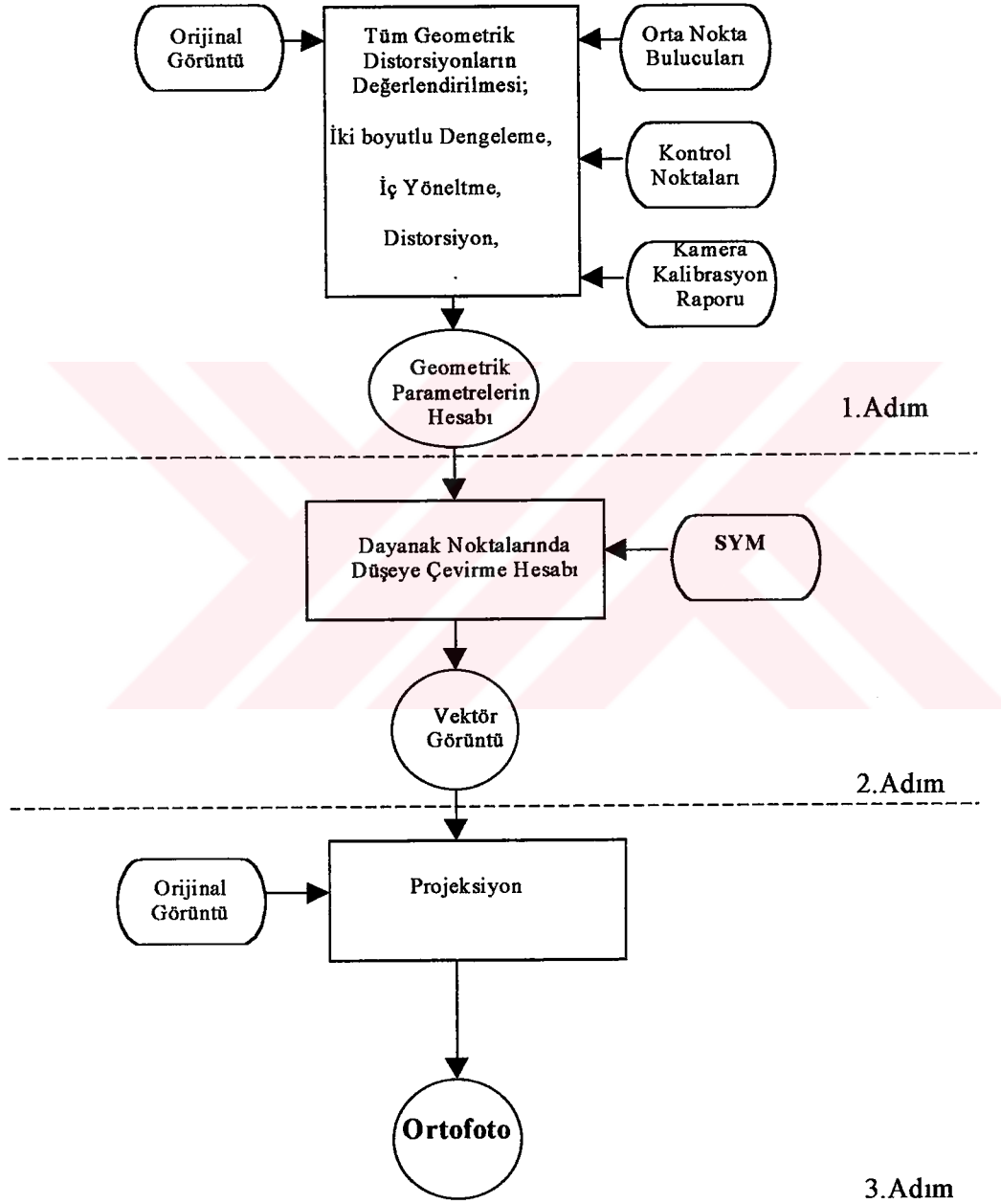


Şekil 4. 5 Cisim uzay ve kamera koordinat sistemi arasındaki ilişki [9].

Birinci adımda geometrik parametrelerin hesaplanması için orta nokta bulucuları ve görüntüdeki kontrol noktaları operatör tarafından belirlenir ve ölçülür. Kamera,

sayısallaştırılmış görüntü ve fotoğraf baskı arasındaki transformasyonlar bütün girdi verileri değerlendirilerek belirlenebilir.

İkinci adımda görüntüler düşeye çevirilir. Bu durumda piksel piksel veya sabit nokta yöntemleri bulunmaktadır. Üçüncü adımda, geometrik dengeleme için gerekli tüm bilgiler değerlendirilmiş ve vektör formda sabit noktalar dosyası olarak saklanmaktadır[14].



Şekil 4. 6 Digital ortofoto yazılım akış diagramı [14]

5. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİ (SYM)

5.1 Tanım ve Tarihçe

İlgili bir çok yayında Sayısal Arazi modelleri (SAM) ile ilgili pek çok tanım bulmak mümkündür. Bunlardan Güler (1978), Koyuncu (1981) ve Aydemir'e (1982) göre SAM yeryüzünün bilgisayarla yapılacak işlemler esas olmak üzere sayısal olarak temsil edilmesidir. Çiçek (1990), SAM'ni fiziksel yeryüzünün tüm yapay ve doğal ayrıntılarının sayısal gösterimi şeklinde tanımlamıştır. Miller ve Leflamme (1958), SAM teriminin topografik yüzeyin her türlü sayısal gösterimini belirtmek amacı ile kullanılan tarihi bir terim olduğunu belirtmektedirler. Burrough (1986) sadece yükseklik verisi içeren modeller için Sayısal Yükseklik Modeli SYM teriminin kullanılmasının daha uygun olduğunu iddia etmektedir. Çünkü arazi terimi genellikle yeryüzünü yüksekliklerinden çok yeryüzünün oluşturan görüntüyü ifade etmektedir. Evans (1980) ise bu tür veri kümeleri için Sayısal Yer Modeli (Digital Ground Model) terimini kullanmaktadır. Yeryüzüne ait bilgilerin oldukça yoğun olması, bu bilgilerin toplanması ve sunulmasında bilgisayar kullanımı gerekmektedir.

Yukarıdaki tanımlardan yararlanarak Sayısal Arazi Modelleri (SAM), yeryüzündeki yapay ve doğal ayrıntılar ile topoğrafik yapının bilgisayarla yapılacak işlemlere esas olmak üzere sayısal olarak temsil edilmesi şeklinde tanımlanabilir.

Sayısal yükseklik Modelleri (SYM) ise SAM 'den daha dar kapsamlı olup fiziksel yeryüzünün sınırlı bir bölümünden örnekleme yolu ile seçilmiş bir grup veriye (üç boyutlu koordinatlar) uygun bir enterpolasyon fonksiyonunun uygulanması ve ilgili yüzeye en uygun yaklaşmanın sağlanarak arazinin topoğrafik yapısının sayısal olarak gösterimi şeklinde tanımlanabilir.

Sayısal Arazi Modelleri çalışmaları ilk kez 1950 yıllarda, yol projelerinin bazı aşamalarının otomatik olarak çözümlemek amacıyla Amerika Birleşik Devletleri'nde Boston'da Bulunan MIT (Massachusetts Institute of Technology) de Prof. Miller tarafından başlatmıştır.

Bilgisayar olanaklarının artmasına paralel olarak gerek yazılımlar gerekse donanımlar büyük bir gelişme göstermiştir. Bu gelişmeler arasında dikkati en çok çekenler arasında; otomatik çizim sistemleri, analitik ve yarı analitik fotogrametrik değerlendirme aletleri, otomatik kayıt yapabilen sayısallaştırma aletleri vb. sayılabilir. Sistemlerin hızla gelişmeleri Sayısal Arazi Modellerinin değişik alanlarda etkin bir şekilde kullanılabilme olanaklarını ortaya çıkarmıştır. Günümüzde özellikle gelişmiş ülkelerde SAM, sanayi, tıp, mimarlık, inşaat, madencilik, ziraat, haritacılık ve özellikle askeri alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır .

5.2 Sayısal Yükseklik Modeli Sistemi

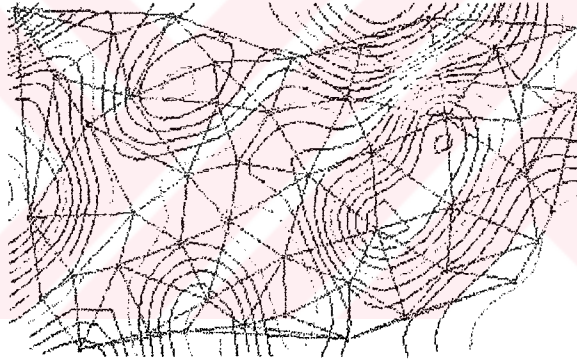
SYM, genel amaçlar için kullanılan bir deyim olmasına rağmen genellikle 5 ayrı işlem adımı içermektedir. Bunlar: üretim, işleme, enterpolasyon, görselleştirme ve uygulamadır[13].

5.2.1 SYM Üretimi

SYM üretiminde kullanılan temel veriler, eşyüksekti eğrilerinin sayısallaştırılması, fotogrametrik veri üretimi (hava fotogrametrisi ve uydu verileri dahil) ve ölçmeler yardımıyla elde edilen arazi yükseklik verileridir. En yaygın olarak kullanılan eşyüksekti eğrilerinden üretilendir. Eş yüksekti eğrileri çizgisel haritalardan el ile, yarı otomatik, çizgi izleme veya otomatik tarama yöntemlerinden birisi ile sayısallaştırılır veya oluşturulan stereomodelden fotogrametrik olarak doğrudan doğruya elde edilir. Bu işlemten sonra, eşyüksekti eğrileri numaralanır, vektör veriye dönüştürülür, editlenir ve yükseklik verisi eklenir. Veri elde etmede yaygın olarak kullanılan diğer yöntemler arasında Fotogrametri ve kısmen Uzaktan Algılama oldukça önemli bir yer tutarlar. Özellikle birinci yöntem yüksek doğruluklu topografik veri üretmek için kullanılır. Ayrıca arazi ölçmesi yoluyla elde edilen verinin doğruluğu çok yüksektir, çünkü yöntem araziden en fazla veriyi almak üzere tasarlanmıştır. Ancak bu

şekildeki yüksek doğruluk seviyeli arazi ölçmeleri için harcanan zamanı çok olup, bu nedenle de böyle arazi ölçmeleri küçük alanlardaki belirli projeler için uygulanabilir. Bir SYM 'nin temel yapısı, onu temsil etmek için kullanılan veri modelinden gelir.

SYM'ler bir görüntü yöntemiyle veya matematiksel olarak temsil edilebilirler. Çok çeşitli veri yapıları topoğrafik yüzeyi göstermek amacıyla denenmiş ve test edilmiş olmalarına rağmen bunlardan iki tanesi en çok popüler olanıdır. Bunlar kare grid veya yükseklik matrisi ile TIN yapısıdır. Her ikisi de bir nokta modelini kullanan görüntü ile temsil edilir. Bunlar arasında grid yöntemi sayısal arazi modeli (SAM) elde etmek için en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bunun nedeni, gridin veri yapısı ile bilgisayarların dosya yapısı arasında büyük benzerlikler olmasıdır. Her ikisinde de yükseklikler iki boyutlu sıralar şeklinde depolanır (her nokta bir sıra veya kolona iliştilerilebilir).



Şekil 5. 1 SYM TIN yapısı

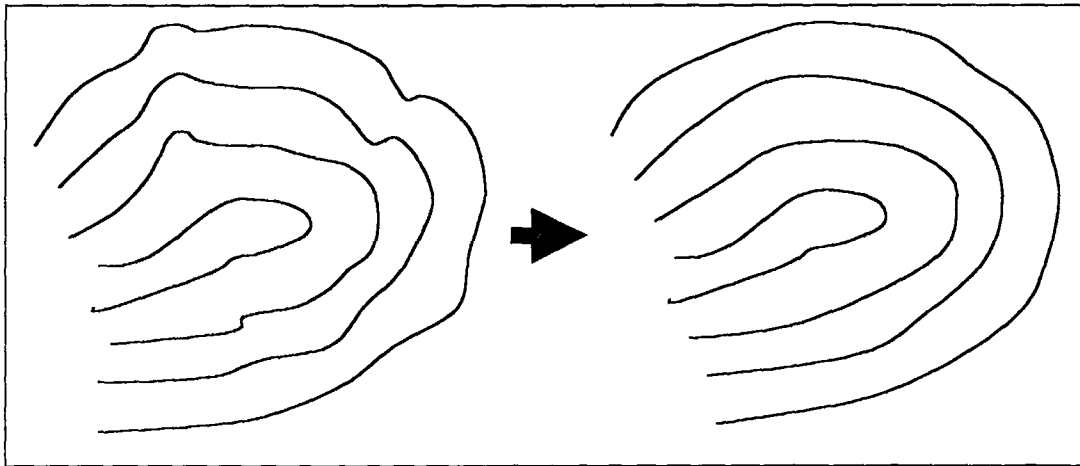
Depolama yapısındaki bu benzerlik nedeniyle, veri noktaları arasındaki topolojik ilişkiler kesin olarak kaydedilir. Bu da hem bilgi işlemeyi hem de algoritma geliştirmeyi kolaylaştırır. TIN modeli, x,y koordinat değerleriyle birlikte z değerleri bilinen veya düzensiz olarak yerleşmiş noktaların birleştirilmesiyle oluşan üçgenlerin meydana getirdiği bir ağ oluşturur. Yükseklik matrisinin en önemli avantajı, karmaşık yüzeylere sahip alanlar hakkında daha güvenilir bilgi üretebilmesinin yanında basit yüzeylerin oluşturduğu alanlar için fazla verinin üretilmesini engellemektir.

5.2.2 SYM İşlemesi

Bu adım mevcut SYM lerinin kalibre edilmesi, iyileştirilmesi ve tamamlanması için gereklidir. Bunların arasında SYM lerini bir yapıdan diğer bir yapıya dönüştürme işlemlerinin yanında editleme, filtreleme ve birleştirme işlemleri de vardır. Editleme SYM lerinde hataları düzeltme ve güncelleştirme için gereklidir. Filtreleme, düşük ve yüksek geçiş filtrelemelerinin sayısal kullanımı ile çoğaltma ve yumuşatma fonksiyonlarını içerir. Yumuşatma fonksiyonu ile SYM indeki detaylar azaltılır veya ortadan kaldırılır. Filtreler, veri depolama alanının kaydı, işlem zamanının azalması veya görüntü çözünürlüğünü yeniden örneklemek için araştırılacak veri hacminin azaltılması amacıyla hizmet eder. SYM leri bitişik olduğunda ancak yöntemleri ve çözünürlükleri uyumlu olan SYM leri birleştirilebilir.

Uygulamalı bilim ve mühendislik problemlerinde varolan veri grubu içinden bir rastgele büyüklüğün elde edilmesi problemi ile karşılaşılır. Aranılan rastgele değer genel olarak veri grubunu temsil eden değişkenlerin lineer olmayan fonksiyonları biçiminde yazılabilir, fakat bu durumda çözümler analitik olarak çok zor elde edilir.

Bundan dolayı problemi basitleştirmek için lineer fonksiyonlar kullanılır. İnterpolasyonu ve filtrelemeyi tanımlamak için $l(u)$, $s(u)$ ve $r(u)$ gibi üç tane rastgele fonksiyonu tanımlayalım, bu üç fonksiyon arasında $l(u)=s(u) + r(u)$ bağıntısı vardır.



Şekil 5. 2 Filtreleme ve yumuşatma işlemleri

Burada $l(u)$ ölçülen fonksiyon, $r(u)$ ölçme hatası veya "noise", $s(u)$ signaldir. Bundan dolayı interpolasyon ve filtreleme, bir $l(u)$ veri grubuna ait $l(u_1), l(u_2), \dots, l(u_n)$ fonksiyon değerlerinin olması durumunda $s(u_0)$ rastgele fonksiyonunun $u=u_0$ da $s(u_0)$ olasılıklı değerini bulmaktır[8].

5.2.3 SYM Yorumlaması

SYM lerinin değeri yeryüzü ve onun özneliliklerine bağlı olarak çıkartılmış bilgi olmaktadır. Yorumlama, sayısal yüzeyin kantitatif analizine bağlı olarak ortaya çıkan jeomorfolojik bilgiyi sağlar. Bu tür analizler çevresel kaynak yönetimi uygulamalarında doğrudan kullanılırlar. Yorumlama iki farklı seviyede olabilir; genel geomorfometri ve özel geomorfometri. Özel geomorfometri yüzey hidrolojisi ve özneliliklerindeki yüzey elemanlarını sayısal olarak gösterirler, genel geomorfologinin amacı eğim üretmektir. Bu, drenajların temellerinin belirlenmesinde, hidrolik simulasyonlarda ve jeomorfolojik modelleme çalışmalarında oldukça faydalıdır.

5.2.4 SYM Görselleştirmesi

Yorumlamanın sonuçlarının gösterilmesi gereklidir, ve görselleştirme bu işlem için anahtar rol alır. Bu özellikle, SYM modellemesinin sonuçlarının iletilmesi ile ilgilidir. Görselleştirme iki bölümden oluşur, birincisi modeli araştırmak kalibre etmek ve iyileştirmek olan etkileşimli görselleştirme, ikincisi ise sonuçların iletimi için statik görselleştirme. Eşyükselti eğrileri gibi topoğrafik yüzeylerin yorumlanması ve gösterimi için en çok bilinen yöntemler görselleştirmeye eklenmişlerdir. Donanım ve yazılımda görselleştirme ilişkin 3 boyutlu modelleme, renderleme, animasyon gibi bir çok işlem vardır. Bütün bunlar yorumlama işlemleri için faydalıdır, çünkü grafiksel gösterimlerin görsel analizleri buna oldukça yakındır.

5.2.5 SYM Uygulamaları

SYM çok farklı uygulamalarda kullanılma amacıyla geliştirilmişlerdir. Bilgisayar grafikleri ve göstermedeki teknolojik gelişmeler, üç boyutlu teori, veri tabanları ve ilgili alanlar SYM lerinin farklı uygulamalarda kullanılabilmesini olanaklı hale getirmiştir. Bu uygulama alanları arasında inşaat mühendisliği, yüzey bilimleri,

planlama ve kaynak yönetimi, ölçme ve fotogrametri mühendisliği ile askeri uygulamalar geniş yer tutmaktadır.

5.3 Sayısal Yükseklik Modelleme Yöntemleri

SYM genellikle arazi yüzeyini tek değerli fonksiyonlarla ifade eder.

$$Z = f(x, y) \quad (5.1)$$

Verilen herhangi bir (x,y) konumu için SYM sadece bir z değeri türetebilir. Bu değerleri hesaplamak için iki yöntem kullanılır: Grid yöntemleri ve Üçgenleme yöntemleri.

5.3.1 Grid Yöntemleri

Bu yöntemde arazi yüzeyi üzerine kare veya dikdörtgen gridler yerleştirilir ve grid düğüm noktalarının yükseklikleri hesaplanır. Dayanak noktaları grid köşelerinde yer alabileceği gibi, rastgele konumda da bulunabilir. Bu iki şekilde gerçekleşmektedir.

- Fotogrametrik model üzerinden doğrudan ölçmelerle
- Arazi üzerinde rastlantısal olarak dağılmış dayanak noktalarının ölçülmesi ile

Grid köşe noktalarındaki yükseklik değerleri, kullanılacak bir enterpolasyon yöntemi ile belirlenir. Her bir grid, köşe noktalarındaki yükseklik değerleri ve gerekirse eğim değerlerine dayanan bir fonksiyon ile ifade edilir. Bu fonksiyonlar aşağıda gibi belirlenmiştir.

5.3.1.1 Ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon

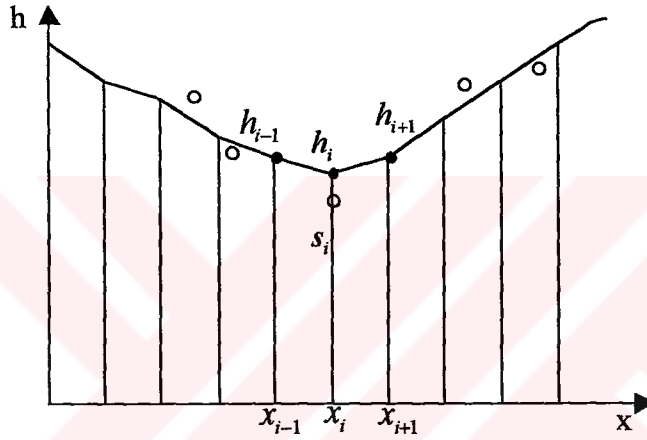
Bu yöntemde, arazi yüzeyi kare gridlerle bölünür, grid köşe noktalarındaki yükseklik değerlerinin belirlenmesinde kullanılacak dayanak noktalarına uzaklıklarına göre ağırlıklar verilmektedir . Bu yöntemin özellikleri 6. bölümde detaylı olarak irdelenecektir.

5.3.1.2 Sonlu elemanlarla enterpolasyon

Ebner'e göre, koordinat dayanak noktaları arasındaki enterpolasyonda bir düzlem eğrinin eğriliği için yaklaşık bir ifade kullanılmaktadır. Bir birine eşit mesafelerdeki kontrol noktaları için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir [1].

$$k_i = h_{i-1} - 2 \cdot h_i + h_{i+1} \quad (5.2)$$

Bu ifade de $h=f(x)$ fonksiyonun ikinci türevinin bir yaklaşımıdır, burada x_{i-1} , x_i , x_{i+1} noktaları arasındaki mesafe sabittir ve 1'e eşittir.



Şekil 5. 3 sonlu elemanlarla enterpolasyon

Düz eğriler için (5. 2) denklemi bunların eğriliklerinin gösterimi için iyi bir yaklaşımdır. (5. 2) denkleminde $k_i=0$ yapay bir ölçme alınarak ve buna ait v_i düzeltmesi getirerek (5. 3) düzeltme denklemi elde edilir [1].

$$v_{ki} = h_{i-1} - 2h_i + h_{i+1} \quad (5.3)$$

İkinci grup hata denklemleri (5. 4) ile kullanılır.

$$v_{hi} = h_i - h_{si} \quad (5.4)$$

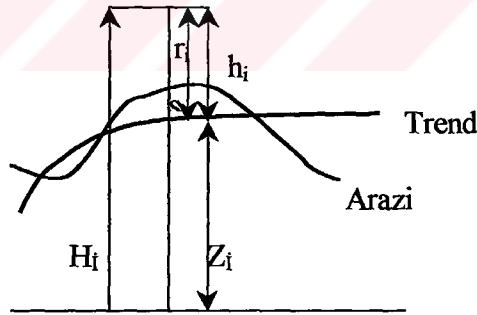
Bu denklem bilinen bir noktanın h_{si} bilinen yüksekliği içerir ve bu raster biçimdeki sayısal arazi modeline raster noktalarıyla yaklaşılabılır. Eğer destek noktası raster çizgisi üzerinde bulunuyorsa lineer enterpolasyon yapılır, eğer raster içerisinde keyfi

bir biçimde bulunuyorsa bilineer interpolasyon yapılır. Tüm raster noktaların yükseklikleri aynı anda dengelemenin bilinmeyenleri olarak alınılır.

5.3.1.3 En küçük kareler ile interpolasyon:

Bu yöntemde dayanak noktalarına göre düşük dereceden bir trend eğrisi geçirilir. Trend eğrisi geçirmenin amacı dayanak noktalarını rastgele bir fonksiyon haline getirmektir. Trendin geçirilmesi ile dayanak noktalarının yükseklik değerleri üç kesime ayrılır. Bunlar; trend, korelasyonlu kesim (sinyal), ölçü hataları (noise)dır. Burada trend arazinin genel, korelasyonlu kesim ise arazinin ayrıntılarını içermektedir. Trend ile gerçek yüzey arasında kalan bu kısım fonksiyonel olarak ifade edilemez, ancak istatistik olarak ifade edilebilir. Değerler varyans ve kovaryansa dayandırılır. Varyans, trend yüzeyine kıyasla ortaya çıkan farkların büyüklüğü hakkında bir ölçüttür [6].

Kovaryans ise, iki komşu nokta arasındaki korelasyonu göstermektedir. Kovaryans ne kadar büyük ise, iki nokta birbirine o kadar yakın demektir. Kovaryans fonksiyonu tüm alanlar için sabit olabileceği gibi her interpolasyon noktası için ayrı ayrı belirlenebilir.



Şekil 5. 4 h_i yükseklik değerleri

Enterpole edilmiş noktanın yüksekliği;

$$H = Z(x, y) + c^t C^{-1} h \quad (5. 5)$$

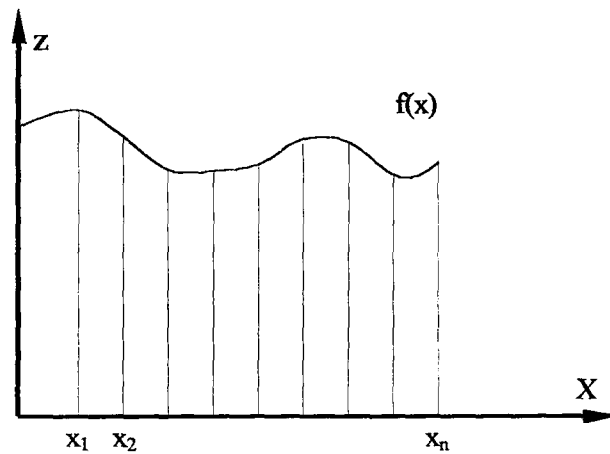
olarak bulunmaktadır.

Bu yöntemin özellikleri;

- Mutlaka bir trend yüzeyi geçirilerek dayanak nokta değerlerinin trend yüzeyinden olan farkları hesaplanmalıdır. Seçilen trend ile yükseklik farklarının büyüklüğü polinom derecesinin farkına bağlıdır. Çok yüksek dereceden polinomların kullanımında ise, kötü koşullu denklemler ve tehlikeli salınımlar ortaya çıkmaktadır. Kraus, 1973’de yapılan bir uygulamada ikinci dereceden bir trendin kullanımının en iyi sonucu verdiğini göstermiştir[6].
- Tüm harita altlığının küçük birimlere ayrılması ve her birim için kovaryans fonksiyonunun ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir.
- Kovaryans fonksiyonu noktasal olarak da belirlenebilir.
- Bilinmeyen sayısı dayanak nokta sayısına eşit bir denklem sisteminin çözümünü gerektirmektedir.
- Yöntem filtreleme yapmaya uygundur.

5.3.1.4 Tek değişkenli polinomlarla enterpolasyon

Tek değişkenli polinomlarla enterpolasyon adından da anlaşılacağı gibi tek boyuta yapılmaktadır. Dolayısıyla enterpole edilecek noktanın grid kenarları üzerinde olduğu durumlarda tercih edilir. Enterpolasyonda grid kenarı doğrultusunda bulunan tüm noktalar veya bunların bir bölümü kullanılmaktadır [4].



Şekil 5. 5 Tek değişkenli polinomlarla enterpolasyon

Bu yöntemde, kullanılan noktalardan yararlanarak bir polinom belirlenmektedir. Bu polinomun derecesi kullanılacak nokta sayısına bağlıdır. Buna göre polinom aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$Z(x) = f(x) = \sum_{i=0}^v c_i x^i \quad v = n - 1 \quad (5.6)$$

Açıkça yazmak gerekirse,

$$Z(x) = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 + \dots + c_v x^v \quad (5.7)$$

Burada, n polinomu belirleyecek nokta sayısı, v ise polinomun derecesidir.

5.3.1.5 İki değişkenli polinomlarla enterpolasyon

Bu yöntemin ana fikri arazi yüzeyini tek fonksiyonla ifade etmektir. X, Y, Z koordinatları ile bilinen dayanak noktalarının oluşturduğu arazi yüzeyinin, n'inci dereceden bir polinomla matematik ifadesi,

$$Z(x) = \sum_{k=0}^n \sum_{\substack{j=k-i \\ i=0}}^k a_{ij} x^i y^j \quad (5.8)$$

Şeklinde dir. Burada;

a_{ij} : polinomun bilinmeyen katsayılarını

n : yüzeyin derecesi

i, j : (x,y) koordinatlarının üssü olan pozitif tamsayıları göstermektedir[5].

Yüzeyin derecesi 1 ise bu Lineer enterpolasyon olur, bu yöntem Kayan Yüzey Yardımıyla Enterpolasyon [5] ve İki Değişkenli Lineer Enterpolasyon [4] gibi farklı bir çok isim altında araştırılmıştır. Yöntemin matematik deyimlendirilmesi (5. 8) aşağıdaki gibidir:

$$Z(x, y) = a_{00} + a_{10}x + a_{10}y \quad (5.9)$$

Burada bilinmeyen sayısı 3 tür, ve bunları bulmak için üç nokta yeterlidir ve daha fazla noktalar işleme katılacaksa dengelemeye geçilmesi gerekir. Yüzeyin derecesi birden büyükse Bilineer polinomlarla enterpolasyon olarak isimlendirilir. SAM

uygulamalarında genellikle 2. veya 3. derece polinomlar kullanılır. Formül (5. 10)'de ikinci dereceden polinom açık olarak yazılabilir.

$$z(x, y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 \quad (5. 10)$$

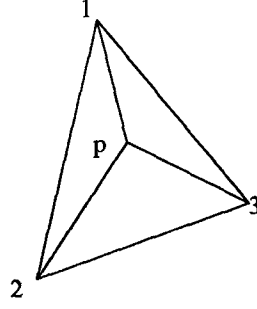
İkinci derece polinomun belirlenmesi için 6 katsayının bilinmesi gerekmektedir. (x, y, z) koordinatları bilinen en az 6 dayanak noktası ile bu problem çözülebilir. Yüzeyin derecesi arttıkça gereksinim duyulan dayanak noktanın sayısı da artmaktadır ve yüzeyde gereksiz salınımlar oluşur.

5.3.2 Üçgenleme Yöntemleri

Üçgenlemenin amacı, arazi yüzeyini üçgen elemanların toplamı şeklinde ifade etmektir. Arazi yüzeyini oluşturan üçgenlerin köşe noktaları dayanak noktalarıdır ve her bir dayanak noktası en az bir üçgenin köşe noktasını oluşturur. Bir başka önemli özellik, üçgenlerin birbirlerini yalnızca dayanak noktalarında veya üçgen kenarları boyunca kesmeleridir. Komşu üçgenlere ait ortak kenarlar dışındaki tüm üçgen kenarları birbirlerini ya dayanak noktalarında keserler ya da hiç kesmezler. Bu üçgenlerin birbirleri üzerine binmesini engeller. Bunun yanı sıra, yüzeyi oluşturan elemanlar sadece üçgen olmalıdır. Bu yöntemde, birbirleri üzerine binmeyen bu üçgenlerin her biri lineer veya bilineer bir fonksiyonla ifade edilir. Arazi yapısını gösteren iskelet çizgileri ve kırık çizgilerin üçgenlenmesi sırasında mutlaka bir kenar oluşturması sağlanmıştır.

5.3.2.1 Lineer enterpolasyon

Her bir üçgen bir düzlem olarak kabul edilir. Yüksekliği enterpole edilecek noktanın içine düştüğü üçgende lineer enterpolasyon uygulanır, (5. 9) formülündeki gibi o düzlem belirlenir ve üçgene ait üç köşe noktası için yazılacak üç denklem için katsayılar belirlenir.



Şekil 5. 6 Üçgenleme yönteminde lineer enterpolasyon uygulaması

5.3.2.2 Bilineer enterpolasyon

Bu yöntemde her üçgende iki değişkenli bir polinom belirlenir. Polinomun derecesi artıkça bilinmeyen katsayılar artar, fakat bilinmeyen katsayılar sayısı varolan denklem sayısından fazla olduğundan ek denklemler (özellikler veya eşitlikler) bulunmalıdır. Bu yüzden polinom katsayılarının hesaplanması için üçgen köşelerinde kısmi türevlerinin belirlenmelidir.

6. UYGULAMA

Uygulama iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada Visual Basic 5.0 programlama dili kullanılarak 3D-Foto diye isimlendirilen bir program yazılmış, ikinci aşamada ise birinci aşamada üretilen programın çıkış dosyaları kullanılarak Pictran yazılımı yardımı ile digital ortofoto üretimi gerçekleştirilmiştir.

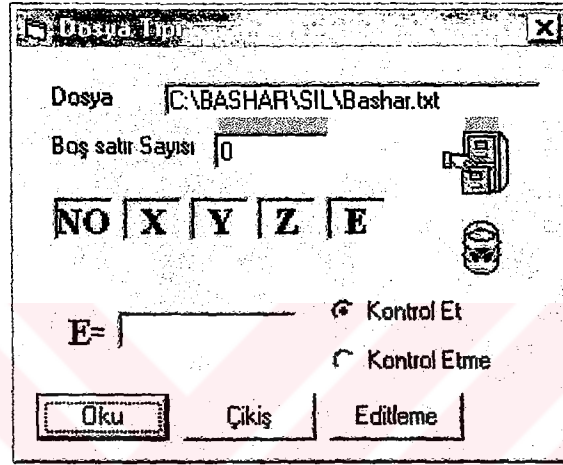
6.1 3D-FOTO Yazılımın İncelenmesi

Yazılım bir kaç alt program içermektedir. Bunlar aşağıdaki işlem adımlarını gerçekleştirmektedirler.

- Farklı yapıdaki dosyaların okunması (*.ppt, *.txt, *.nok, *.dat, *.dxf).
- Nokta koordinatlarının lokal koordinat sisteminden ekran koordinat sistemine dönüştürülmesi.
- Ekran koordinat sistemindeki nokta koordinatlarının lokal koordinat sistemine dönüştürülmesi.
- Ekran üzerinde nokta numarası yakalanması, yer değiştirilmesi, silinmesi, koordinat değerlerinin editlenmesi.
- Transformasyon işlemleri.
- Büyütme, küçültme, çekme, perspektif görüntü.
- Çizgi dosyalarının okunması, Pictran (*.gro) dosyası olarak kayıt edilmesi.
- Üçgenleme.
- Sayısal Yükseklik Modelinin grid değerlerinin bulunması.
- Eş yüksekli eğrilerinin hesaplanması ve çizdirilmesi.

6.1.1 Koordinatların Okunması ve Depolanması

Koordinat dosyası okunması için dosyanın yapısı tanımlanmalıdır. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için her nokta için x,y,z koordinatlarının sırası ve dosyanın başında kaç tane boş satır olduğunun belirlenmesi gerekir. Bu işlem bilinen dosyalar(*.ppt, *.dxf, *.nok) için gerekli değildir. Koordinat değerini okuduktan sonra dört sütun şeklinde ve en çok 30000 nokta depolanır, bu sütunlar: noktanın numarası , X, Y ve Z dir.



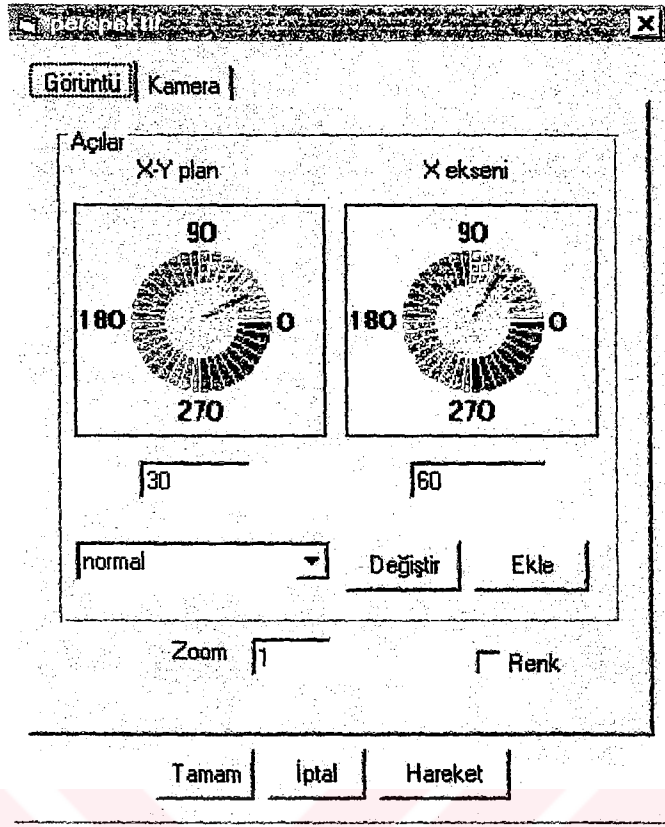
Şekil 6. 1 Dosyanın yapısının tanımlanması

6.1.2 Noktaların Çizilmesi ve Editlenmesi

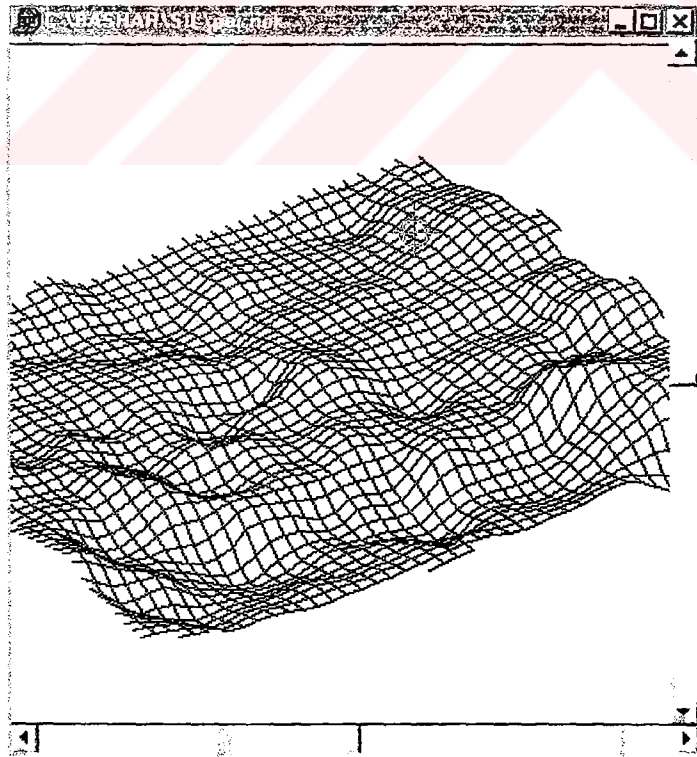
Noktalar okuduktan sonra en küçük ve en büyük X,Y,Z değerleri belirlenip çizim alanı bulunmalıdır. Uygun ölçek ve öteleme değerlerini hesapladıktan sonra tüm noktaları ekrana çizilebilir. Büyütme ve küçültme işlemleri için ölçeği değiştirilebilir, ve görüntüyü kaydırmak için de öteleme değeri değiştirilebilir.

Farklı görüntüler elde etme için koordinat sistemi değiştirilir. Perspektif görüntünün belirlenmesi için ya iki açı verilir veya kameranın koordinatları ile resimdeki orta noktanın koordinatları verilir.

Ekrana üzerinde her nokta için editleme, yer değiştirme ve silme işlemleri yapılabilmesi için ekrana üzerinde istenen noktayı yakalanması gerekir. Bu işlem gerçekleştirilmesi için mouse'un tıkladığı yerde ve her nokta için mesafe hesaplanır ve en yakın nokta bulunur.



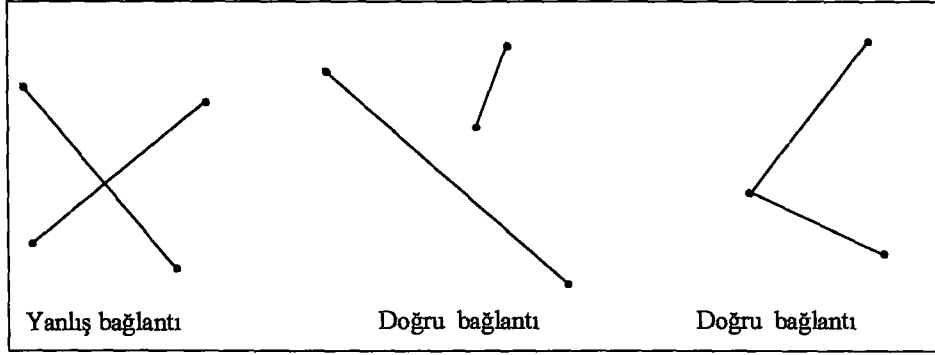
Şekil 6. 2 Görüntü seçme menüsü



Şekil 6. 3 Prespektif görüntü

6.1.3 Üçgenleme

Üçgenleme yapması için en yakın mesafeye göre noktaların bağlantısı kurulur, ilk olarak en yakın mesafeden başlanır, ve bir çizgi çizilir, daha sonraki mesafe bulunduğundan sonra sorgulama yapılır, bu sorgulamanın amacı iki çizgi üst üste çakışmaması olup ve tüm bağlantılar yapıncaya kadar bu şekilde devam edilir.



Şekil 6. 4 Üçgenleme işlemi sorgulama

Hesaplanan mesafe bulunan ortalama mesafeyi geçtikten sonra üçgenleme programı sona erer.

The screenshot shows a window titled 'Üçgenleme'. It contains three input fields: 'En büyük mesafe' with the value '222', 'Orta mesafe' with the value '093', and 'Gerçek mesafe' which is empty. Below these fields are four buttons: 'Başla' (Start), 'İptal' (Cancel), 'Kapat' (Close), and 'gro'.

Şekil 6. 5 Üçgenleme menüsü

6.1.4 Transformasyon İşlemleri

Noktalar okunduktan sonra bazı durumlarda transformasyon işlemlerinin yapılması gerekir. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için Benzerlik transformasyon kullanılmıştır.

$$X = a_1 + a_2x + a_3y \quad Y = a_4 - a_3x + a_2y \quad (6. 1)$$

Her nokta için iki denklem yazılır, bilinmeyen sayısı dört olduğundan en az iki nokta seçilmelidir, iki noktadan fazla seçilirse dengelemeye geçilir.

Transformasyon

2 Boyutlu | 3 Boyutlu

$a1+a2*x+a3*y=X$ $a4-a3*x+a2*y=Y$

a1= 359983.367254615 Ölçek= 13.7636269245364
a2= 13.6622478931895 dx = 359983.367
a3= -1.66745573340449 dy = 4513654.252
a4= 4513654.25218248 Aç = 6.958

no 4 X 419224.987 Y 4543713.584 Z 108.075

2 x= 420185.3 y= 4543758.168 z= 120.704 dx=-66.661 dy=-165.7561
4 x= 419224.987 y= 4543713.584 z= 108.075 dx= 1062.6555 dy=-98.1046

Aç Kaydet Değiştir Hepsini seç Transformasyon

dx max= 1062.6555 dy max= -165.7561

Şekil 6. 6 Benzerlik transformasyonun menüsü

Katsayıları bulduktan sonra ölçek, öteleme, dönüşüm değerleri hesaplanır.

6.1.5 Ağırlıklı Ortalama ile Enterpolasyon Modelinin Araştırılması

Bu yöntemde, arazi yüzeyi kare gridlerle bölünür, grid köşe noktalarındaki yükseklik değerlerinin belirlenmesinde kullanılacak dayanak noktalarına uzaklıklarına göre ağırlıklar verilmektedir. Bu yöntemin matematik modeli aşağıdaki gibidir.

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^k Z_j \cdot w_{ij}}{\sum_{j=1}^k w_{ij}} \quad (6.2)$$

$$w_{ij} = e^{-\left(\frac{S_{ij}}{D}\right)^n} \quad (6.3)$$

Şekil 6. 7 Katsayıları otomatik olarak bulunması ve değiştirilmesi

Dayanak noktası sayısı arttıkça, her bir enterpolasyon noktası için yapılacak işlem sayısı artacaktır. Bu kadar yüklü işlemten kaçınmak için her bir enterpolasyon noktasının yüksekliği, i noktanın çevresinde çizilen kritik kare içinde kalan dayanak nokta yüksekliklerinden hesaplanır. Kare dışında kalan dayanak noktaları hesaba katılmaz. Bu nedenle önem kazanan kritik kare büyüklüğü yöntemin uygulanacağı araziye göre farklı büyüklüklerde seçilebilir.

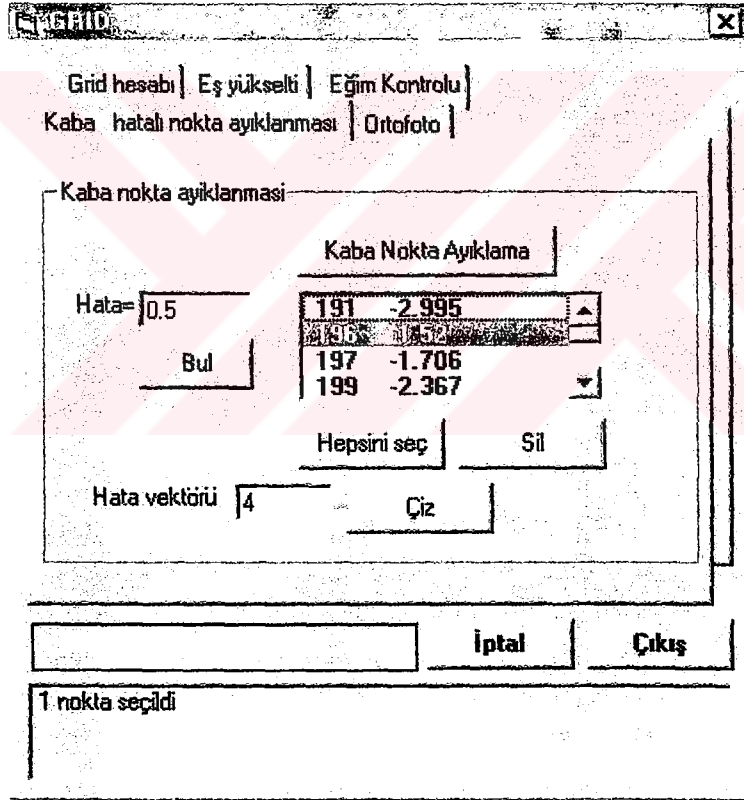
Bu modelin araştırılması için aşağıdaki aşamalar gerekmektedir:

- Kaba hatalı noktaların ayıklanması
- Noktaların yoğunluklarının hesabı
- Kritik mesafenin hesabı ve uygun grid seçimi
- Matematik Modelinin uygulanabilirliğinin araştırılması

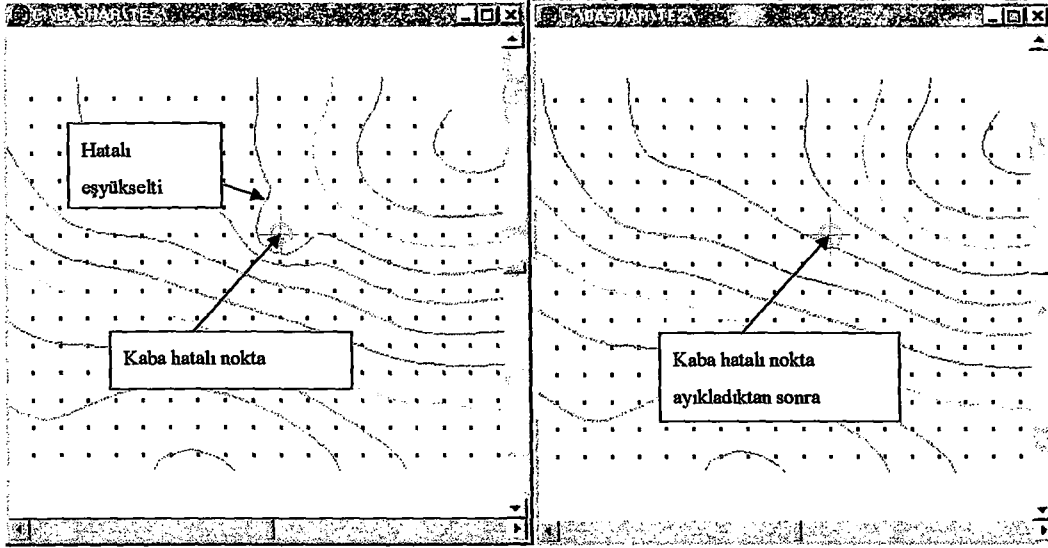
6.1.5.1 Kaba Hatalı Noktaların Ayıklanması

Dayanak noktaları ölçerken, dosya şeklinde yazarken veya koordinatları hesaplarken kaba hatalar yapılabilir. Kaba hatalı değer içeren noktalar gerçekte hatalı olmayabilir (elektrik kolonları, binalar, ağaçlar, köprüler) ve sayısal arazi modeline katılmaması gerekir.

Bu yüzden SYM ne başlamadan önce kaba noktaların ayıklanması gerekir. Bu işlemin gerçekleştirilmesi sırasında her dayanak noktası için matematik modeli uyguladıktan sonra, hesaplanan Z ve varolan Z arasındaki farklar bulunur. Bu farklar bir nokta için verilen belirli bir değeri geçtikten sonra hatalı sayılır ve bu nokta silinir. Şekil 6. 8’de görüleceği üzere bu değer 0.5 m olarak verilmiştir.



Şekil 6. 8 Kaba hatalı noktaların ayıklanmasının menüsü



Şekil 6. 9 Kaba hatalı noktaların ayıklanması bir örnek.

6.1.5.2 Nokta Yoğunluklarının Hesabı

Ortalama mesafe hesaplanması için dayanak noktaların yoğunluklarının hesaplanması gerekir, bu yoğunluk tüm alanda eşit ise arazide tek fonksiyon kullanılabilir, eşit değilse dinamik fonksiyon kullanılır ve her bölgede değişik ortalama mesafe alır.

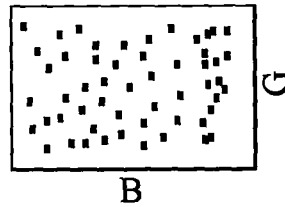
Bu aşamada iki durumla karşılaşılır:

- Noktaları saran eğri dikdörtgen olarak kabul edilir ve bu durumda formül (6. 4) kullanılır.

$$D = \sqrt{\frac{G \cdot B}{n}} \quad (6. 4)$$

Burada;

G =genişlik, B =boy, n =nokta sayısını göstermektedir.

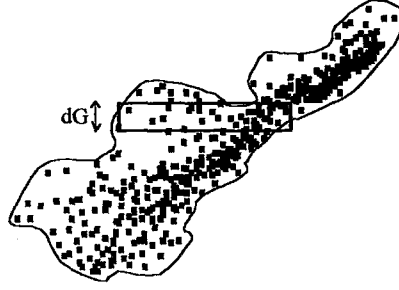


Şekil 6. 10 Noktaları saran eğrinin dikdörtgen şeklinde olması durumu

- Noktaları saran eğri dikdörtgen değilse, bu durumda (6. 5) formülü uygulanır. Burada, ilk olarak alan hesaplanır, fakat alan düzensiz olduğu için sayısal integral hesabı uygulanır.

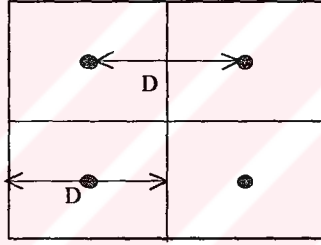
(6. 5)

$$D = \sqrt{\frac{\sum B_i \cdot \partial g}{n}}$$



Şekil 6. 11 Noktaları saran eğrinin dikdörtgen olmaması durumu

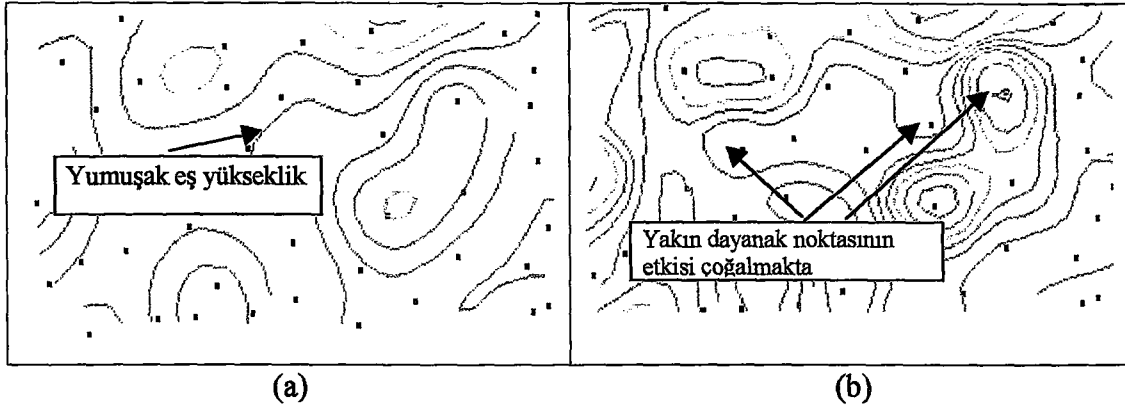
Formül(6. 5)'de her nokta için ortalama bir kare alan hesaplanır, bu alanın karekökü alınır ve karenin bir kenarı hesaplanır. Çıkan değer D'ye eşittir (Şekil 6. 12).



Şekil 6. 12 Ortalama mesafenin bulunması

Hesaplanan D değeri matematik modelde kullanılırsa en uygun eş yükseklik eğrisi elde edilir, fakat daha küçük D değeri kullanılırsa eş yükseklik eğrisinin şekli çok kırıklı olur ve en yakın dayanak noktasının etkisi çoğalır. (Şekil 6. 13)'de farklı D mesafeleri için hesaplanan eş yükseklik eğrileri görülmektedir.

Şekil 6. 13-a da hesaplanan D değeri kullanılmıştır, $D=2.2$ m ve kritik mesafe $=2.2*3 = 6.6$ m olarak hesaplanmışken Şekil 6. 13-b de, D değeri kullanılmamıştır. Bu durumda eş yükseklik eğrisine en yakın dayanak noktasının etkisi çoğalır. Bu yöntemde $D=1.5$ m Kritik mesafe $= 1.5*3 = 4.5$ m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.13 Farklı D değerleri için elde edilen eş yükseklik eğrileri

6.1.5.3 Kritik Mesafenin Hesabı:

Bu mesafenin hesaplanabilmesi için en küçük ağırlığın belirlenmesi gerekir

$$W_{ij} = 0.001 \text{ ise, } 0.001 = e^{\left(\frac{S_{ij}}{D}\right)^n}, \ln 0.001 = -\left(\frac{S_{ij}}{D}\right)^n, 6.908 = \left(\frac{S_{ij}}{D}\right)^n \quad (6.6)$$

$$S_{ij} = D \cdot \sqrt[n]{6.908}$$

n=2 ise

$$S_{ij} = 2.63 * D \quad (6.7)$$

Matematik modele katılacak dayanak noktalar için S_{ij} değerinin 3D değerinden büyük olmaması gerekir. Eğer olursa ağırlık 0.001'den daha küçük olur. Tablo 6.1 de çeşitli n, w değerleri için kritik mesafeler gösterilmiştir. Uzak dayanak noktaları için bu değerler azalır. Denemeler ile en uygun n değeri olarak 2 bulunmuştur.

Tablo 6.1 Kritik mesafenin bulunması

W \ n	1.5	2	2.5	3	3.5
0.1	1.744*D	1.517*D	1.396*D	1.321*D	1.269*D
0.01	2.768*D	2.146*D	1.842*D	1.664*D	1.547*D
0.001	3.627*D	2.628*D	2.166*D	1.904*D	1.737*D
0.0001	4.394*D	3.035*D	2.431*D	2.096*D	1.886*D

Grid mesafesinin uygun seçilmesi gerekir. Gridin ortalama mesafeye (D) yakın olmasında yarar vardır, fakat eğer eş yükseklik eğrisinin kırıkları çok yoğun istenirse grid daha küçük seçilebilir.

6.1.5.4 Matematik Modelinin Uygulanabilirliğinin Araştırılması

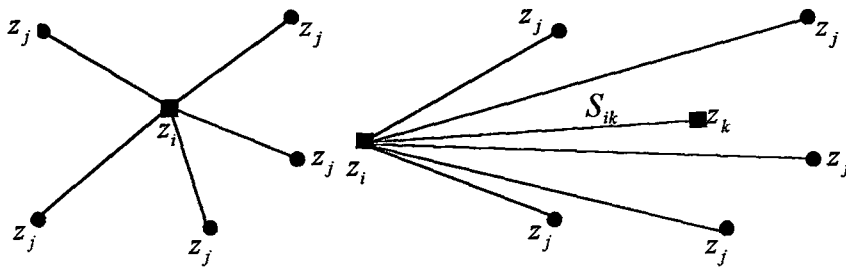
Ağırlıklı ortalama enterpolasyon modelinin uygulanabilmesi için hesaplanacak grid noktası noktaların ortasında olmalıdır, bu koşulun kontrol edilebilmesi için aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

$$X_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_j \cdot w_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (6.8)$$

$$Y_i = \frac{\sum_{j=1}^n Y_j \cdot w_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (6.9)$$

$$M_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \quad (6.10)$$

(6.9) numaralı eşitlik kontrol mesafesini verir (M_{ij}), eğer bu uzunluk ortalama mesafeden (D) büyükse matematik model kullanılmaz. Bu koşul kullanılarak hem matematik modelin kalitesi sağlanabilir, hem de eş yükseklik eğrisinin alanın dışına çıkması engellenmiş olur.



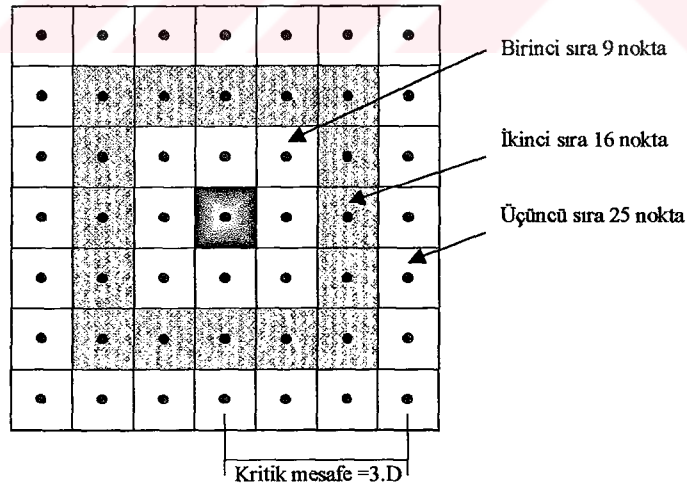
Şekil 6. 14 Matematik modelin uygulanabilirliğinin koşulu

$$z + \varepsilon = \frac{z + 9\left(z + \frac{\Delta z}{3}\right)e^{-\left(\frac{D}{D}\right)^2} + 16\left(z + \frac{4\Delta z}{3}\right)e^{-\left(\frac{2D}{D}\right)^2} + 25\left(z + 3\Delta z\right)e^{-\left(\frac{3D}{D}\right)^2}}{1 + 9e^{-\left(\frac{D}{D}\right)^2} + 16e^{-\left(\frac{2D}{D}\right)^2} + 25e^{-\left(\frac{3D}{D}\right)^2}} \quad (6.13)$$

$$z + \varepsilon = z + \Delta z \left(\frac{3e^{-\left(\frac{D}{D}\right)^2} + \frac{64}{3}e^{-\left(\frac{2D}{D}\right)^2} + 75e^{-\left(\frac{3D}{D}\right)^2}}{1 + 9e^{-\left(\frac{D}{D}\right)^2} + 16e^{-\left(\frac{2D}{D}\right)^2} + 25e^{-\left(\frac{3D}{D}\right)^2}} \right) \quad (6.14)$$

$$\varepsilon = \Delta z \frac{1.5}{4.61} = 0.33\Delta z \quad (6.15)$$

(6.15) numaralı eşitlik hatanın Δz ile bağlı olduğunu gösterir, ve SYM'de yüksek doğruluk olması için dayanak noktaları ölçülürken Δz in küçük olmasına dikkat edilmesi gerekir. Burada eğim değerlerinden söz edilmemesinin nedeni, ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon modelinin tam anlamıyla ortalama mesafeye bağlı olmasıdır.



Şekil 6. 16 Kritik kare içindeki noktayı etkileyen dayanak noktaları.

Hatanın küçültülebilmesi için ortalama mesafenin küçültülmesi gerekir

$$D_1 = \frac{2}{3} D \quad \text{ise ,}$$

$$\varepsilon = \Delta z \cdot \left(\frac{3 \cdot e^{-2.25} + \frac{64}{3} e^{-9} + 75 \cdot e^{-20.25}}{1 + 9 \cdot e^{-2.25} + 16 \cdot e^{-9} + 25 \cdot e^{-20.25}} \right) = \frac{0.32}{1.95} \Delta z = 0.16 \Delta z \quad (6.16)$$

6.1.5.6 Sayısal Yükseklik Modelinde Yükseklik Hatası

Farklı ölçeklerde üretilen fotogrametrik ürünlerin yükseklik eğrisi hatası için belirlenen eşitlikler aşağıdaki gibidir.

$$m_h = 0.2 \text{ } ^\circ / _{00} h + 2 \cdot 10^{-4} m_k \cdot \tan \alpha \quad (6.17)$$

burada:

h : uçuş yüksekliği

m_k : harita ölçeği

α : arazi eğimi

Tablo 6. 2 Fotogrametrik değerlendirmeden beklenen doğruluk derecesi [1,s 19]

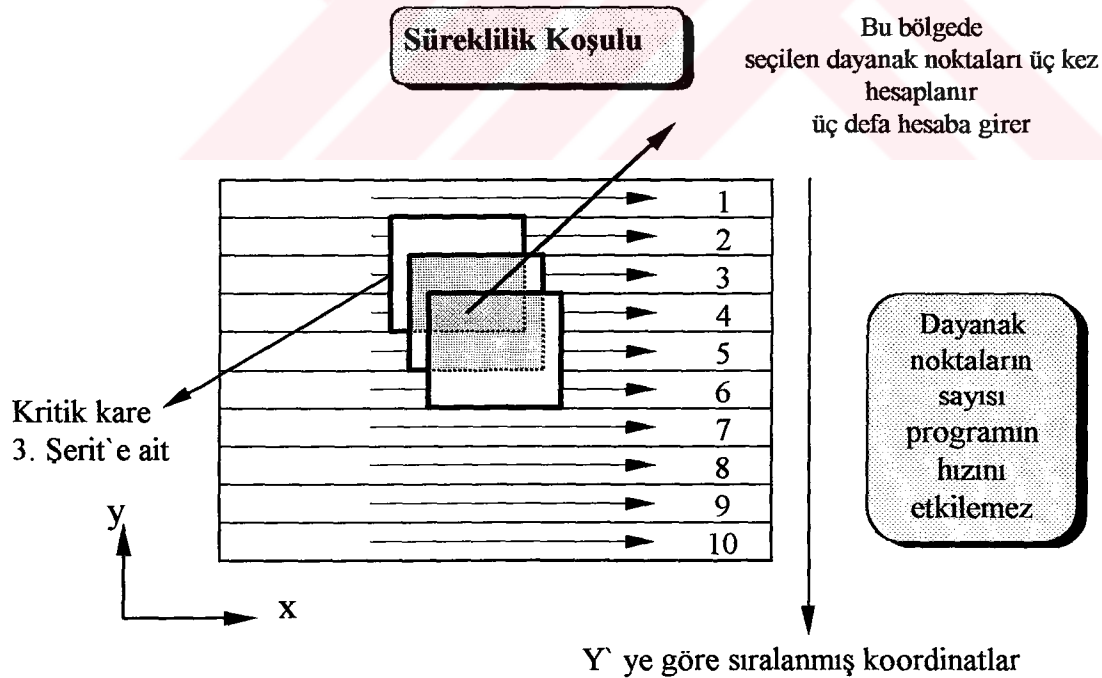
ortalama resim ölçeği	araziden itibaren ortalama uçuş yüksekliği	işaretlenmiş nokta koordinatların karesel ortalama hataları $m_x=m_y$	yükseklik karesel ortalama hatası			
			işaretlenmiş noktalar için	açıkça görenen profil noktaları	tanınabilir arazi noktaları	yükseklik eğrilerini
	m	Cm	cm	cm	cm	cm
1:2000	300	$\pm 2 - 3$	± 3	± 5	± 6	$\pm 8 - 10$
1:3000	450	$\pm 3 - 5$	± 5	± 7	± 10	$\pm 12 - 15$
1:4000	600	$\pm 4 - 8$	± 6	± 9	± 12	$\pm 15 - 20$
1:5000	750	$\pm 5 - 8$	± 8	± 12	± 15	$\pm 20 - 25$
1:10000	1500	$\pm 10 - 15$	± 15	± 25	± 30	$\pm 40 - 50$

6.1.5.7 Ağırlıklı Ortalama ile Yapılan Entropolasyonun Kalitesi

Ağırlıklı ortalama ile entropolasyonun kalitesinin belirlenebilmesi için, gerçek arazi modeline ne kadar yaklaşıldığının belirlenmesi gerekir. Bu kaliteyi bulmak için grid verileri giriş veri olarak kullanarak bütün dayanak noktalarının yüksekliği hesaplanır ve aynı yükseklik değerleri elde edilmediğinde karesel ortalama hatası hesaplanır. Bu işlem yapılırken ortalama mesafenin dikkate alınması gerekir. Eski değer yerine kare değeri kullanılabilir, diğer katsayılar hiç değiştirilmeden kontrol fonksiyonunda kullanılabilir.

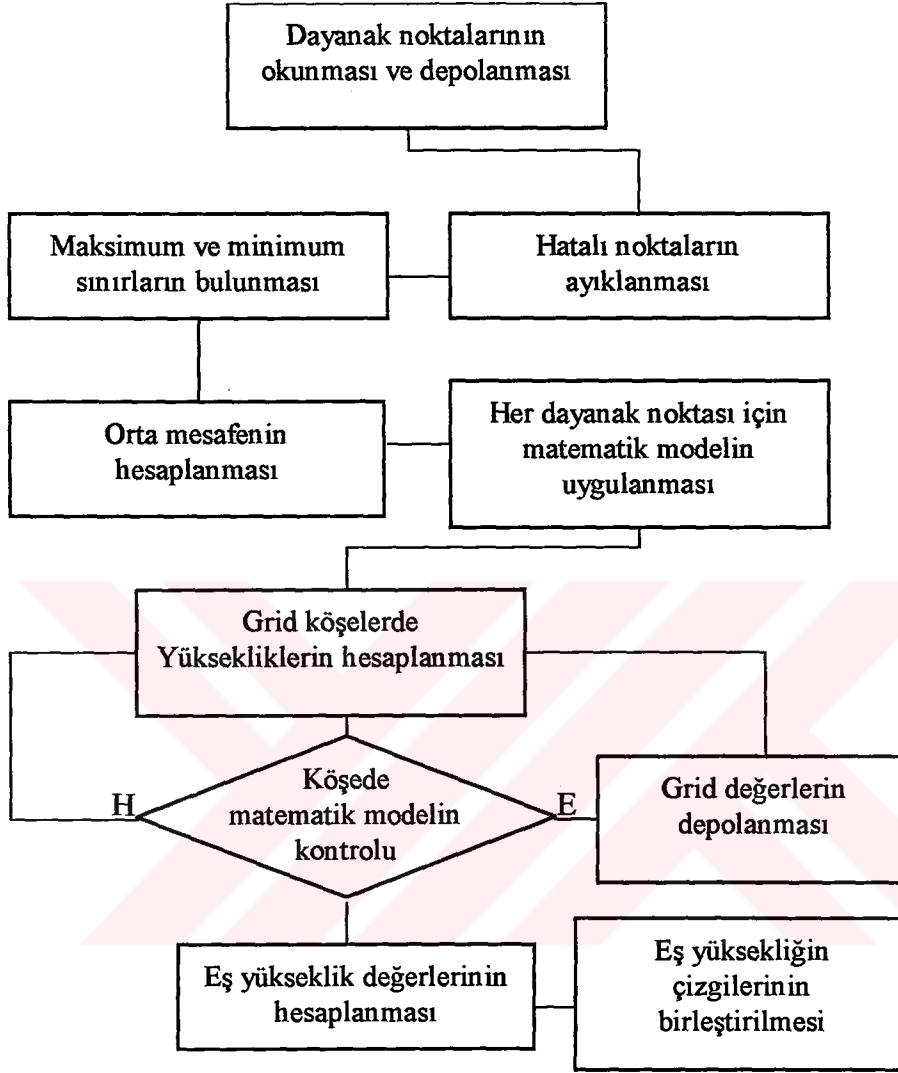
6.1.5.8 Ağırlıklı Ortalama ile Hız ve Süreklilik Koşulu

Dayanak noktası sayısı arttıkça, her bir entropolasyon noktası için yapılacak işlem sayısı artacaktır. Bu kadar yüklü işlemde kaçınmak için bütün noktalar Y'e göre sıralanabilir, ve entropolasyon uygulanmasında bütün noktalar katılmaz, aynı zamanda sürekli koşulu bozulmaz çünkü her entropolasyon üst ve alt şeritler katılır.



Şekil 6. 17 Ağırlıklı modeli kavramı

6.1.5.9 Ağırlıklı Ortalama ile Enterpolasyonun Akış Diagramı



Şekil 6. 18 Ağırlıklı ortalama ile enterpolasyonun akış diagramı

6.2 Pictran Yazılımı

Pictran-D/E yazılımı Technet tarafından C programıyla bir yazılımdır. Pictran kişisel bilgisayar altında çalışır ve tek bir projede en fazla kullanılabilecek vektörler aşağıdaki gibi:

Resim noktaların sayısı	15000 nokta
Kontrol noktaların sayısı	1000 nokta

Resim sayısı	100 resim
Farklı kamera	5 kamera
Düzlem sayısı	20 düzlem
İki nokta arasındaki uzunluk	100 tane
İki nokta arasındaki Δx , Δy , Δz değerleri	100 tane

Pictran bir kaç alt program içermektedir. Bunlar aşağıdaki işlem adımlarını gerçekleştirmektedirler.

- Resim dönüşüm işlemi: bu alt programda resimler *.tif , *.pcd formatından *.btf formatına dönüştürür (import) veya *.btf formatından *.tif formatına dönüştürülmesi mümkündür(exprot).
- İç yönlmesi: iç yönlmesi yapabilmesi için kameranın verileri gerekli, orta noktanın bulucuların koordinatları, odak uzaklığı, ve distorsiyonun değerleridir,
- Dış yönlme: Dış yönlme Pictran-B ile yapılmaktadır,
- Üç Boyutlu değerlendirme,
- Ortofoto üretim programı.

6.2.1 İç Yönlme

Proje tanımlanmadan sonra önce iç yönlme yapılmalıdır. (Orta nokta bulucularının veya Reseau işaretlerinin) ölçülmesiyle digital resim ve gerçek resim koordinat sistemi arasındaki bağıntı elde edilir. Bunun sonucu olarak aşağıdaki resim hataların düzeltme olanakları elde edilir:.

- Filmin düz olmaması, filmin büzülmesi, resim tarayıcısının hatası,
- Optik Sistemin mercek hatası (Radyal Distorsiyon Düzeltmesi),

İç Yönlmeyi gerçekleştirmek için orta nokta bulucuları veya reseau noktaları veya resim köşe noktaları ölçülür. Ölçülen noktalara ait olması gereken koordinatlar kamera veri dosyasından alınır. İç yönlme hesabından sonra ölçülen noktalardaki

hatalar gözükür ve bu hataların değerine bağlı olarak iç yöneltme kabul veya red edilir. Yöneltme verileri *.rpt uzantılı dosyada depolanır.

İç yöneltme için Affine transformasyon kullanılır, ve aşağıdaki formül uygulanılır:

$$\begin{aligned} X &= a_1x + a_2y + a_3 \\ Y &= a_4x + a_5y + a_6 \end{aligned} \quad (6.18)$$

6.2.2 Dış Yöneltme

İç Yöneltme işlemi bittikten sonra dış yöneltme işlemine geçilir. Dış yöneltme ile resim şeridindeki her bir resim çekme makinesinin çekim doğrultuları ve konumları yeniden oluşturulur. Bu resimleri tek bir blok proje içerisinde dengeleyebilmek için iki tür nokta kullanılır.

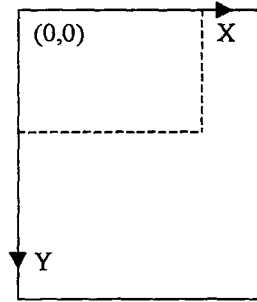
- Kontrol noktaları: koordinatları resim ve cisim koordinat sisteminde bilinen noktalar
- Resim noktaları: Farklı resimlerde ölçülebilen fakat cisim koordinatları bilinmeyen noktalar

Resim şeridinin yöneltilebilmesi için ışın demetleri ile dengeleme yapılır, sonuçta her bir resim için dış yöneltme parametreleri hesaplanır. Dış yöneltmeyi başlamadan önce her resim için koordinat sistemi seçilmelidir.

6.2.2.1 Resim Koordinat Sistemi Seçilmesi

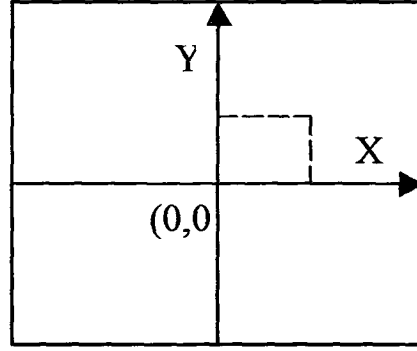
Burada aşağıda tanımlanan koordinat sistemleri bulunmaktadır.

Piksel Sistemi: Piksel sistemi digital resmin koordinat sistemidir. Başlangıç noktası resmin sol üst köşesidir.



Şekil 6. 19 Resimde piksel sistemini seçilmesi

Film Sistemi: Bu sistem kameranın orta nokta bulucuları ile tanımlanmıştır.



Şekil 6. 20 Resimde film sistemini seçilmesi

Reseau Sistemi: Bu sistem film sistemine de karşılık gelir, ancak bu sistemde film büzülmesi, düz olmaması gibi hataları mümkün olduğu kadar ortadan kaldıran ek düzeltmeler vardır.

Ana Nokta Sistemi: Başlangıç noktası ana nokta olan sistemdir.

Resim Sistemi: İdeal sistem olarak adlandırılan bu sistemde radyal distorsiyon düzeltilmesi yapılabilir.

6.2.2.2 Kontrol ve Resim Noktaları

Kontrol noktaları için uzantısı *.ppt olan dosya oluşturulur. Bu kontrol noktaları ve resim noktaları projedeki tüm resimlerde ölçülür. Bu noktalara ait ölçme değerleri uzantısı *.mpt olan bir dosyada depolanır.

6.2.2.3 Yöneltilme

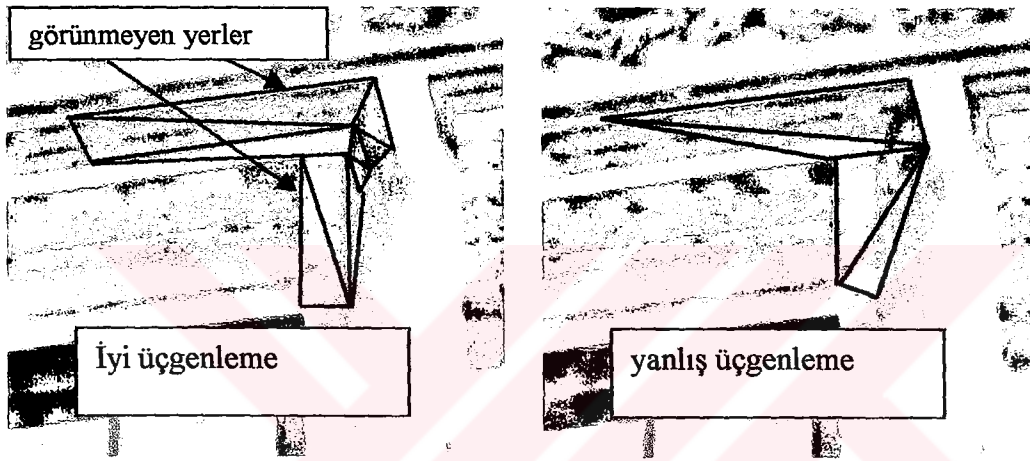
Işın demetleri ile dengeleme işlemine başlanılır. Elde edilen sonuçlar (OUTPUT) Files altındaki komutlar ile görülebilir, Sonuçların hatalarına göre dengeleme sonuçları kabul edilebilir veya tekrarlanır. Sonuçların kabul edilmesi durumunda yöneltilme kabul edilmiş olur.

6.2.3 Üç Boyutlu Değerlendirme

Keyfi sayıdaki resim üzerinde homolog resim noktaları ölçülerek daha önce hesaplanan koordinatlar yardımıyla bu resim noktalarının önden kestirme ile cisim koordinatları hesaplanır.

6.2.4 Ortofoto Üretilmesi

Üç Boyutlu değerlendirmeyi bitirdikten sonra üçgenleme yapılması gerekir, ve her üçgenin içerisindeki detaylar tek düzlem üzerinde olması gerekir.



Şekil 6. 21 Ortofoto üretimi için üçgenlerin belirlenmesi
(Dolmabahçe Sarayı resimlerinden parça)

çizilen üçgenler *.gro dosyası olarak kaydedilir.

İyi ortofoto yapılabilmesi için görünmeyen bölgeler dikkate alınmalıdır, eğer bir resimde bazı detaylar kaybolursa (özellikle yersel fotogrametride) aynı bölgenin başka resimlerinden yararlanılması gerekir, bu yüzden her bir proje için çok sayıda değişik kamera konumlarından resim çekilmelidir.

Hava fotogrametrisinde üç boyutlu noktaların koordinatları ölçtükten sonra SYM değerleri ortofoto üretmesi için kullanılır, fakat yersel fotogrametride (mimari bölümünde) düzlemler sürekli olmadığı için SYM kullanılmaması önerilir. Ortofoto yapıldıktan sonra Pictran yazılımı ortamında gerçek koordinatlar ortofoto üzerinden okunabilir, fakat *.btf den *.tif formatına dönüşüm yapıldığında *.tif dosyası gerçek

koordinatları içermez (piksel koordinatlarını içerir). Bu yüzden *.tif dosyası CAD ortamına aktarıldığında 6.1.4’de açıklanan Transformasyon işlemlerinde hesaplanan değerleri kullanarak CAD ortamında dönüşüm yapılmalıdır.

6.3 Uygulamalar

6.3.1 Kampus Uygulaması

EMİ LTD. tarafından 1995-1996 yıllarında İstanbul Büyük Şehir Belediyesi için 1/1000 Ölçekli İstanbul Metropolitan Alanı Digital Fotogrametrik Harita Üretim Projesi’nde üretildiğinden tekrar hazırlanmamıştır. İ.T.Ü Ayazağa Kampüsü’ne ait 1\1000 ölçekli digital ortofotoların üretilmesi için Kasım-Aralık 1994’de çekilmiş, fotogrametrik harita üretim amaçlı hava fotoğrafları kullanılmıştır. Uçuş sırasında uçuş yönü doğu-batı, uçuş yüksekliği yeryüzünden itibaren 1220m ve 1/1000 ölçekli hava fotoğrafları çekimi için kullanılan kameranın odak uzaklığı 304.655mm’dir. Hava fotoğrafları %60 bindirme oranına, 1/4000 resim ölçeğine sahiptir. Çalışma bölgesine ait hava fotoğrafları taranarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır, Pictran programı sonucu dış yöneltme elemanları (ω , ϕ , χ , X_0 , Y_0 , Z_0) bulunmuştur.

Sayısal Yükseklik Modeli oluşturması için Pictran yazılımında 101 nokta değerlendirilmiş, 3D-foto yazılımında ağırlıklı ortalama ile enterpolasyonun yöntemi ile 20m aralıklı grid ağı dosyası yapılmıştır. SYM çıkış dosyaları tekrar Pictran yazılımına giriş dosya olarak kullanılmıştır.

Noktalar ölçülürken bu öneriler dikkatine alınmıştır:

- Orman alanlardaki arazi görülmediği için fotogrametrik olarak ölçülmez, ancak araziye çıkıp ölçülebilir.
- Sık noktalar ölçmeli ve iki nokta arasındaki yükseklik farkı 30 cm geçmemesi gerekir.
- Bina köşeleri, sonra yapılan yollar, düz alanları ölçmemesi gerekir

- Eş yükselti eğrileri çizildikten sonra binalar üstünden geçer ve onlar sonra kesmesi gerekir.

Ortofoto Pictran tarafından yapıldıktan sonra *.btf formatından *.tif formatına resim dönüşümü yapıldı (export), ondan sonra CAD ortamına resmi eklenip Pictran tarafından çizildiği detaylar resmin üzerinde eklenmiştir.

Koordinatlarda doğruluğun araştırılması için Pictran yazılımı ile üç boyutlu olarak elde edilen digital fotogrametrik ölçmeler ve CAD ortamında ortofoto üzerinde yapılan üç boyutlu ölçmeler karşılaştırılmış ve doğruluk analizleri yapılmıştır.

Ölçme ve Karşılaştırma sonuçları eklerde verilmiştir:

Tablo A.1 : Pictran ölçme değerleri

Tablo A.2 : Ortofoto üzerinde yapılan ölçmeler

Tablo A.3 : Karşılaştırma sonuçları

Hazırlanmış çıkışlar eklerde verilmiştir:

Şekil A.1 : Ayazağa Kampüsünün ait ham digital resim

Şekil A.2 : Ayazağa Kampüsünün ait 1/2000 ölçekli yapılan ortofoto

Şekil A.3 : Ayazağa Kampüsünün ait 1/2000 ölçekli yapılan çizimler

Şekil A.4 : Pictran programında grid ağı görüntü

6.3.2 Dolmabahçe Sarayı Uygulaması

Dolmabahçe sarayı C bölümündeki deniz cephesindeki 1/20 ve 1/50 ölçekli rölöve ve kesitler çıkartılması için fotogrametri anabilim dalının tarafından UMK kamera ile resimler çekilmiş, kameranın odak uzaklığı 99.32 mm, filim boyutları 13*18 cm, kontrol noktaları Pentax MD 14 elektronik uzaklık ve açılar ile ölçülen veriler kullanılmıştır. Hazırlanmış çıkışlar eklerde verilmiştir:

Şekil B.1 :Dolmabahçe Sarayına ait ham digital resim

Şekil B.2 : Dolmabahçe Sarayına ait 1/100 ölçekli yapılan ortofoto

- Şekil B.3 : Dolmabahçe Sarayına ait 1/25 ölçekli bir detay
Şekil B.4 : Dolmabahçe Sarayına ait 1/25 ölçekli bir detay
Şekil B.5 : Dolmabahçe Sarayına ait 1/100 ölçekli çizim

Bir çizgisel değerlendirme onu üretenin kişisel yorumlarını içerir. Ancak yapılmış olan bu yersel ortofoto uygulama özellikle mimarlar ve mimarlık fotogrametrisini uygulayan kişiler arasındaki subjektif yorumlama farklarını belirgin hale getirip, daha sonraki mimari proje hazırlanması sırasında mimarlara bir kez daha orijinal ancak düşeye çevrilmiş yani yataylandırılmış ve ölçeklendirilmiş (ortofoto) fotoğraf üzerinden sanki cismin önündeymiş gibi bilgisayar ekranında çalışma olanağı sağlamaktadır.



7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fotogrametrik yöntemlerle tüm resim kapsamının düşeye çevrildiği yöntemlerin engebeli arazideki hatalarını ortadan kaldırmaya çalışan diferansiyel düşeye çevirme yöntemleri yanında yaklaşık tüm veri toplama, işleme ve üretim adımlarını bilgisayar ortamında çözümlemeyi hedefleyen digital ortofotolar, özellikle bilgi sistemlerinin bir katmanı olarak giderek yaygın bir uygulama alanı bulmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, giriş bölümünde de açıklandığı gibi, digital ortofoto üretiminde yazılımdan başlayarak üretim aşamasına kadar uzanan safhalarda, hava ve yersel fotogrametri dahil, öne çıkan problemler incelenmiş ve çözüm yolları verilmeye çalışılmıştır.

Uygulama alanı olarak yersel fotogrametri alanında Dolmabahçe Sarayında ve hava fotogrametrisi olarak da İTÜ Ayazağa Kampüsü test alanında yapılan ortofoto uygulamaları sırasında bir kaç problemlerle karşılaşıldı, oluşan problemlerin sebebi ve nasıl yok edildiği aşağıda açıklanmıştır. Ortofoto üretimi için gereken sayısal yükseklik modellerini incelerken aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir :

- SYM programı başlamadan önce hatalı kaba noktalar ayıklanmalı.
- Problemlili alanlarda, örneğin göl, ormanlık arazi, köprü gibi, daha önceden oluşturulmuş model üzerinden gerekirse tekrar sayısal arazi modeli üretme imkanı bulunmaktadır.
- Kırık-çizgilerin fazla olduğu bölgelerde ve ani değişim gösteren doğal olmayan yapıların bulunduğu alanlarda SYM tek fonksiyon yardımıyla üretimi iyi sonuç vermez, bu durumlarda alanın bir kaç bölüme ayrılması gerekir.
- Kaliteli ortofoto elde edebilmesi için, ilk olarak SYM değerlerinin hatasız olarak üretimi, ondan sonra bina ve benzer yapılar yüzey olarak tanımlanması ve daha sonra

yükseklik değerlerinin SYM üstüne eklenmesi gerekir. Bu şekilde elde edilen model hem arazi yükseklik değerlerini hem de binaların yüksekliğini içerir.

- Ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon hatası $0.1 \cdot \Delta Z$ ve $0.2 \cdot \Delta Z$ arasındadır (bölüm 6 araştırıldığı gibi), bu yüzden noktalar ölçülürken iki nokta arasındaki yükseklik farkı küçük olmalıdır.

Ayrıca digital yöneltme programı kötü sonuçlar verirse aşağıdaki noktaların kontrol edilmesi önerilir:

- İstenen tüm dosyalar dengelemeye katılmıştır.
- Kontrol noktaları seçimi doğru ve sayısı yeterlidir.
- Ölçmelerin karesel ortalama hataları seçimi doğrudur.
- Birim ağırlığın standard sapması SIGMA dengelemeden sonra 0.7 ile 1.3 arasında olmalıdır.
- Ortofoto üretilirken işlediği üçgenlemenin dikkate alınması gerekir, ve her üçgenin içerisindeki detaylar tek düzlem üzerinde olması gerekir.
- Yuvarlak yüzeyler için çok sayıda noktalar ölçmesi gerekir, dolayısı ile üçgenleme çok sek olmalı ve ne kadar küçük yapılırsa daha kaliteli ortofoto yapılabilir.
- Görülmeyen bölgeler için her bir proje çok sayıda değişik kamera konumlarından resim çekilmelidir.

Digital ortofotolar her ne kadar bilgisayar ortamında işlenmek ve saklanmak için üretiliyorsa da, görsel olarak üretim sırasında radyometrik düzeltmeye ve baskı yapılacak malzemenin kalitesi ve baskı ortamına dikkat edilmesi gerekir. Yukarıdaki verilmiş sonuçlar sadece adı geçen uygulamalardan elde edilmemiştir. Geliştirilen program tez boyunca farklı uygulamalar çerçevesinde test edilmiş ve sağlıklı sonuçlar alınmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] ISFAHAN, A., 1980, Experimentelle Untersuchungen zur Genauigkeit der Interpolation in Digitalen Höhenmodellen, Stuttgart
- [2] FINSTERWALDER, HOFMANN, 1983, (çev AYTAÇ, M., ALTAN, M.O., ÖRMECİ, C.), İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul
- [3] Fotogrametri I Ders Notları, Basılmamış
- [4] MARAŞ, H., 1993, Sayısal Arazi Modeli Ürünleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- [5] YANALAK, M., 1997, Sayısal Arazi Modellerinden Hacim Hesaplarında En Uygun enterpolasyon Yönteminin Araştırması, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [6] ÖZER, H., 1986, Sayısal Arazi Modeli Yöntemleri Yazılımları ve Uygulamalar, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [7] SCOP Users Guide.
- [8] EDWARD, M. ,1976, Observations and Least Squares, Fitzhenry and Whiteside, Toronto
- [9] KRAUS K., 1993 Photogrammetry, Volume 1 and 2, Dummler Verlag Bonn.
- [10] ZHIZHUO, W., çev MAORONG, C., 1990, Principles of Photogrammetry, Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, Beijing
- [11] STEINER, D.R., 1991, Digital Orthophoto Production on a Microcomputer: A Prototype System, Technical Papers ACSM-ASPRS Annual Convention American Congress on Surveying and Mapping, American Society for Photogrammetry and remote Sensing, Bethesda

- [12] **DEMİREL, H.**, 1998, Digital ortofotolarda Sayısal Arazi Modellerinin doğruluğu, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] **UNEP/GRID**, Sioux Falls, Digital Elevation Models,
<http://grid2.cr.usgs.gov/dem/system.html>.
- [14] **GERHARD, A.**, 1991, Digital Orthoprojection; Scanning, Handling and Processing of Aerial Images, Ebner/ Fritsch/ Heipke Digital Photogrammetric Systems, Herbert Wichmann Verlag GmbH, Karlsruhe
- [15] **MIKUNI, A.**, 1996, Digital Orthophotos: Production, Mosaicking and Hardcopy, Digital Photogrammetry, An Addendum of Manual of Photogrammetry, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland.
- [16] Manual of Photogrammetry Fourth Edition, 1980, American Society of Photogrammetry, Virginia.
- [17] **YILDIZ, F, KARABÖRK, H**, 1996, Fotogrametrik Modellerden Sayısal Yükseklik Modelinin (SYM) Elde Edilmesinde Doğruluk Araştırması, S. Ü. Mim. Fak. Derg., Konya
- [18] **ABDULAZİZ, H, KABUR, İ**, 1995, Desing with Autolisp, Acad center for computer aided designing, Damascus.
- [19] PHODIS, Photogrammetric Image Processing System, Production of Digital Orthophotos and Output of Digital Images, Zeiss
- [20] **WROBEL, B. , SCHLÜTER, M. ,** Digital terrain model generation in the antarctic- a challenging task for digital photogrammetry, Darmstadt university of technology petersenstrabe, Darmstadt.
- [21] **TOZ, G**, 1989, Sayısal Arazi Modelleri, İ.T.Ü. Dergisi , Cilt 47, İstanbul.
- [22] **JAZMATI, S**, 1994, Photogrammetry, Halep Üniversitesi



Tablo A.1: Pictran ölçme değerleri

NO	X	Y	Z
1	7616.366	3159.551	106.356
2	7594.125	3137.602	104.79
3	7550.947	3090.197	99.782
4	7533.227	3065.4	97.46
5	7561.312	2903.837	95.178
6	7562.133	2868.854	91.931
7	7570.171	2850.2	91.078
8	7553.129	2802.561	86.781
9	7548.527	2715.032	81.636
10	7583.481	2727.965	80.826
11	7655.168	2741.39	90.292
12	7684.721	2762.471	90.91
13	7725.795	2815.964	94.108
14	7742.396	2839.89	94.917
15	7817.318	2846.246	96.171
16	7888.852	2854.422	97.262
17	7946.514	2835.519	97.097
18	7990.14	2970.62	105.16
19	7985.646	2988.604	105.53
20	7927.78	3043.548	105.891
21	7913.83	3126.419	110.207
22	7901.35	3181.807	112.644

NO	X	Y	Z
23	7855.746	3191.394	111.037
24	7816.213	3195.344	111.563
25	7770.087	3140.823	112.703
26	7754.308	3090.107	111.298
27	7758.565	3072.735	109.721
28	7768.839	3067.351	108.313
29	7771.303	2998.374	104.861
30	7738.864	2982.082	103.658
31	7730.34	2958.225	101.563
32	7713.239	2943.222	100.607
33	7699.653	2951.513	101
34	7702.315	2941.425	100.42
35	7681.309	2936.485	99.452
36	7618.908	2923.035	98.626
37	7631.376	2943.341	100.07
38	7651.493	2961.647	102.419
39	7675.761	2965.981	102.287
40	7662.308	2793.963	91.536
41	7795.059	2881.316	100.214
42	7769.521	2858.891	95.904
43	7737.884	2866.486	98.417
44	7714.003	2883.848	97.788
45	7729.652	2890.269	100.008

NO	X	Y	Z
46	7709.009	2851.243	95.066
47	7705.973	2884.228	93.78
48	7732.441	2904.704	99.977
49	7722.442	2940.683	100.571
50	7825.708	2924.163	102.972
51	7841.29	2984.12	106.332
52	7791.98	2972.441	104.787
53	7814.296	2927.292	103.028
54	7836.279	2953.748	103.979
55	7805.288	2937.853	103.025
56	7783.16	2958.25	102.165

Tablo A.2: Ortofoto üzerinde yapılan ölçmeler

NO	X	Y	Z
1	7616.215	3159.521	106.4
2	7594.35	3137.6	104.8
3	7550.813	3090.251	99.7
4	7533.32	3065.402	97.4
5	7561.102	2903.83	95.2
6	7562.112	2868.514	91.8
7	7570.35	2850.23	91.2
8	7553.25	2802.521	86.6
9	7548.222	2715.03	81.7
10	7583.315	2727.96	80.7
11	7655.265	2741.52	90.3
12	7684.122	2762.47	90.8
13	7725.915	2815.54	94.2
14	7742.651	2839.8	94.8
15	7817.122	2846.24	96.3
16	7888.693	2854.42	97.4
17	7946.122	2835.25	97.2
18	7990.133	2970.6	105.3
19	7985.651	2988.6	105.4
20	7927.125	3043.21	105.7
21	7913.312	3126.41	110.3

NO	X	Y	Z
22	7901.82	3181.52	112.5
23	7855.132	3191.39	111.4
24	7816.21	3195.21	111.3
25	7770.08	3140.82	112.6
26	7754.3	3090.1	111.2
27	7758.52	3072.73	109.7
28	7768.83	3067.52	108.3
29	7771.451	2998.37	104.8
30	7738.651	2982.02	103.7
31	7730.215	2958.22	101.6
32	7713.312	2943.22	100.6
33	7699.215	2951.51	101.1
34	7702.617	2941.42	100.3
35	7681.325	2936.52	99.43
36	7618.9	2923.03	98.63
37	7631.3	2943.52	100.02
38	7651.4	2961.64	102.48
39	7675.7	2965.98	102.3
40	7662.3	2793.96	91.4
41	7795	2881.31	100.3
42	7769.2	2858.54	95.7
43	7737.8	2866.48	98.3
44	7714.2	2883.54	97.6

NO	X	Y	Z
45	7729.3	2890.26	100.1
46	7709	2851.24	95.1
47	7705.9	2884.22	93.9
48	7732.2	2904.7	99.98
49	7722.4	2940.68	100.6
50	7825.2	2924.52	102.8
51	7841.295	2984.13	106.5
52	7791.3	2972.44	104.76
53	7814.2	2927.5	103.2
54	7836.2	2953.74	103.6
55	7805.2	2937.52	103.3
56	7783.2	2958.252	102.3

Tablo A.3: Karşılaştırma sonuçları

No	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX^2	ΔY^2	ΔZ^2
1	-0.151	-0.03	0.044	0.022801	0.0009	0.001936
2	0.225	-0.002	0.01	0.050625	4E-06	1E-04
3	-0.134	0.054	-0.082	0.017956	0.002916	0.006724
4	0.093	0.002	-0.06	0.008649	4E-06	0.0036
5	-0.21	-0.007	0.022	0.0441	4.9E-05	0.000484
6	-0.021	-0.34	-0.131	0.000441	0.1156	0.017161
7	0.179	0.03	0.122	0.032041	0.0009	0.014884
8	0.121	-0.04	-0.181	0.014641	0.0016	0.032761
9	-0.305	-0.002	0.064	0.093025	4E-06	0.004096
10	-0.166	-0.005	-0.126	0.027556	2.5E-05	0.015876
11	0.097	0.13	0.008	0.009409	0.0169	6.4E-05
12	-0.599	-0.001	-0.11	0.358801	1E-06	0.0121
13	0.12	-0.424	0.092	0.0144	0.179776	0.008464
14	0.255	-0.09	-0.117	0.065025	0.0081	0.013689
15	-0.196	-0.006	0.129	0.038416	3.6E-05	0.016641
16	-0.159	-0.002	0.138	0.025281	4E-06	0.019044
17	-0.392	-0.269	0.103	0.153664	0.072361	0.010609
18	-0.007	-0.02	0.14	4.9E-05	0.0004	0.0196
19	0.005	-0.004	-0.13	2.5E-05	1.6E-05	0.0169
20	-0.655	-0.338	-0.191	0.429025	0.114244	0.036481
21	-0.518	-0.009	0.093	0.268324	8.1E-05	0.008649
22	0.47	-0.287	-0.144	0.2209	0.082369	0.020736

No	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX^2	ΔY^2	ΔZ^2
23	-0.614	-0.004	0.363	0.376996	1.6E-05	0.131769
24	-0.003	-0.134	-0.263	9E-06	0.017956	0.069169
25	-0.007	-0.003	-0.103	4.9E-05	9E-06	0.010609
26	-0.008	-0.007	-0.098	6.4E-05	4.9E-05	0.009604
27	-0.045	-0.005	-0.021	0.002025	2.5E-05	0.000441
28	-0.009	0.169	-0.013	8.1E-05	0.028561	0.000169
29	0.148	-0.004	-0.061	0.021904	1.6E-05	0.003721
30	-0.213	-0.062	0.042	0.045369	0.003844	0.001764
31	-0.125	-0.005	0.037	0.015625	2.5E-05	0.001369
32	0.073	-0.002	-0.007	0.005329	4E-06	4.9E-05
33	-0.438	-0.003	0.1	0.191844	9E-06	0.01
34	0.302	-0.005	-0.12	0.091204	2.5E-05	0.0144
35	0.016	0.035	-0.022	0.000256	0.001225	0.000484
36	-0.008	-0.005	0.004	6.4E-05	2.5E-05	1.6E-05
37	-0.076	0.179	-0.05	0.005776	0.032041	0.0025
38	-0.093	-0.007	0.061	0.008649	4.9E-05	0.003721
39	-0.061	-0.001	0.013	0.003721	1E-06	0.000169
40	-0.008	-0.003	-0.136	6.4E-05	9E-06	0.018496
41	-0.059	-0.006	0.086	0.003481	3.6E-05	0.007396
42	-0.321	-0.351	-0.204	0.103041	0.123201	0.041616
43	-0.084	-0.006	-0.117	0.007056	3.6E-05	0.013689
44	0.197	-0.308	-0.188	0.038809	0.094864	0.035344
45	-0.352	-0.009	0.092	0.123904	8.1E-05	0.008464

No	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX^2	ΔY^2	ΔZ^2
46	-0.009	-0.003	0.034	8.1E-05	9E-06	0.001156
47	-0.073	-0.008	0.12	0.005329	6.4E-05	0.0144
48	-0.241	-0.004	0.003	0.058081	1.6E-05	9E-06
49	-0.042	-0.003	0.029	0.001764	9E-06	0.000841
51	-0.508	0.357	-0.172	0.258064	0.127449	0.029584
51	0.005	0.01	0.168	2.5E-05	0.0001	0.028224
52	-0.68	-0.001	-0.027	0.4624	1E-06	0.000729
53	-0.096	0.208	0.172	0.009216	0.043264	0.029584
54	-0.079	-0.008	-0.379	0.006241	6.4E-05	0.143641
55	-0.088	-0.333	0.275	0.007744	0.110889	0.075625
56	0.04	0.002	0.135	0.0016	4E-06	0.018225
			Toplam	3.751019	1.180266	1.007576

$$M_x = \sqrt{\frac{\sum (\Delta x)^2}{n-1}} = 0.261 \text{ m}$$

$$M_y = \sqrt{\frac{\sum (\Delta y)^2}{n-1}} = 0.146 \text{ m}$$

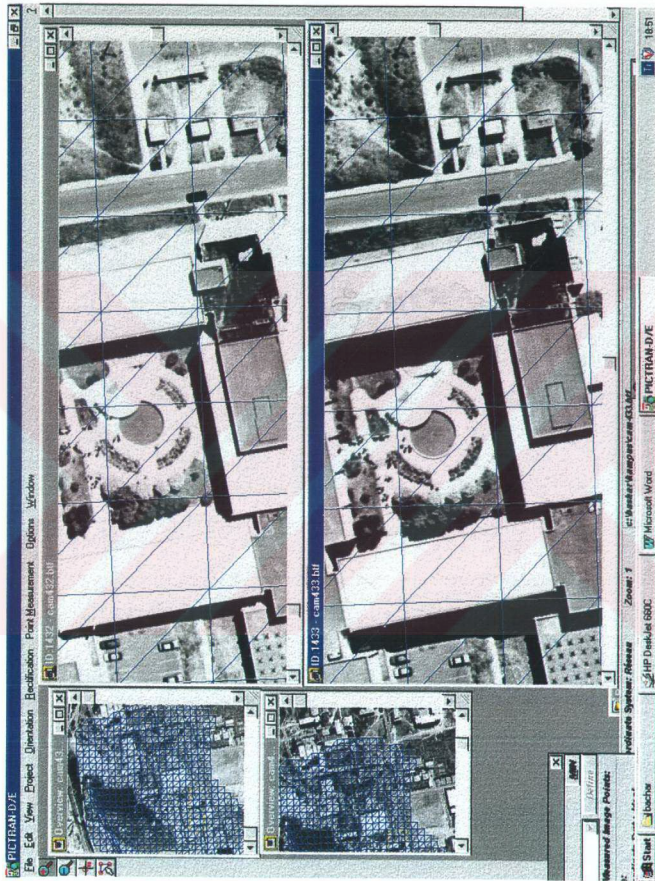
$$M_z = \sqrt{\frac{\sum (\Delta z)^2}{n-1}} = 0.135 \text{ m}$$



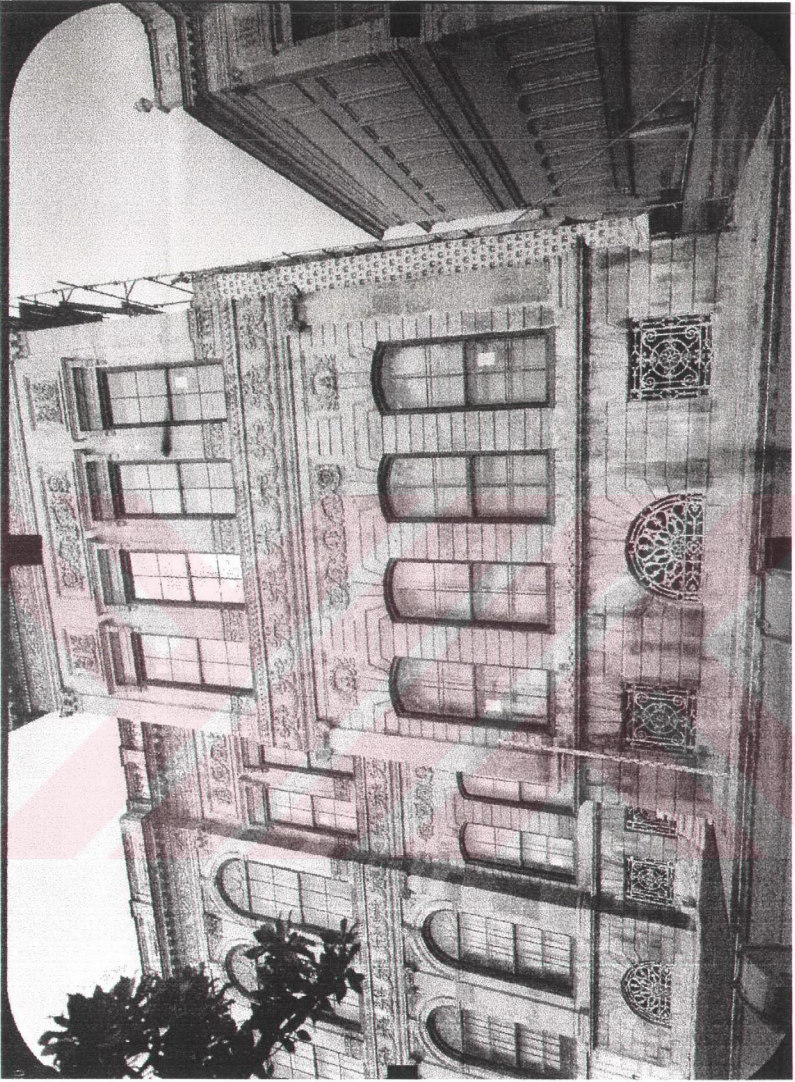
Şekil A.1: Ayazağa Kampüsüne ait ham digital resim



Şekil A.2 : Ayazağa Kampüsüne ait 1/2000 ölçekli ortofoto



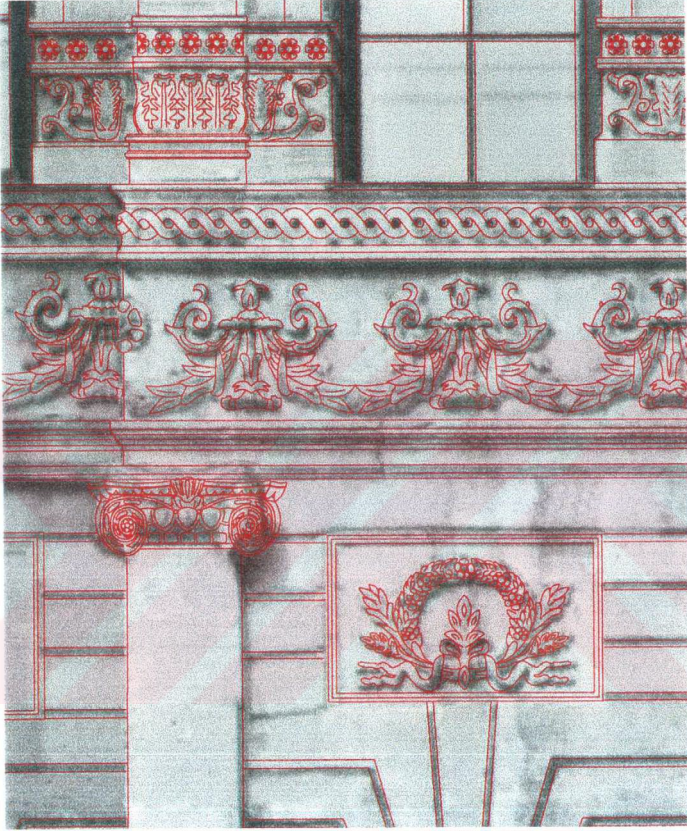
Şekil A.4: Pictran programında grid ağı görüntüsü



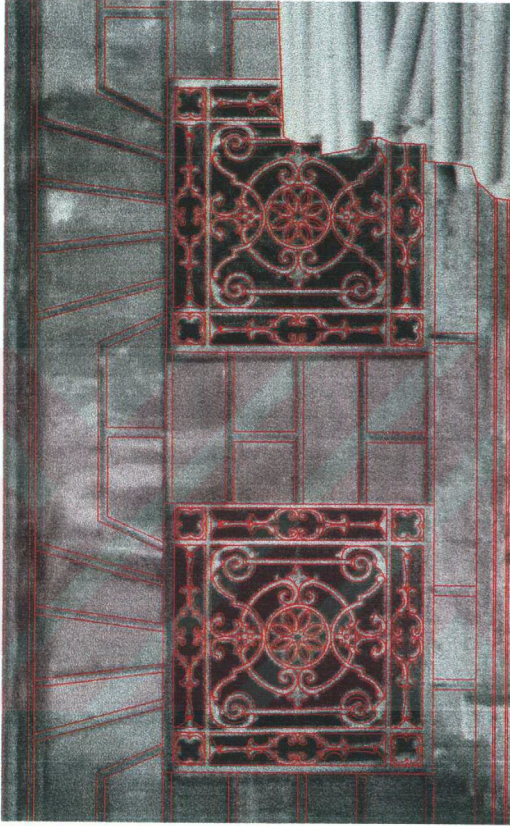
Şekil B.1 :Dolmabahçe Sarayına ait ham digital resim



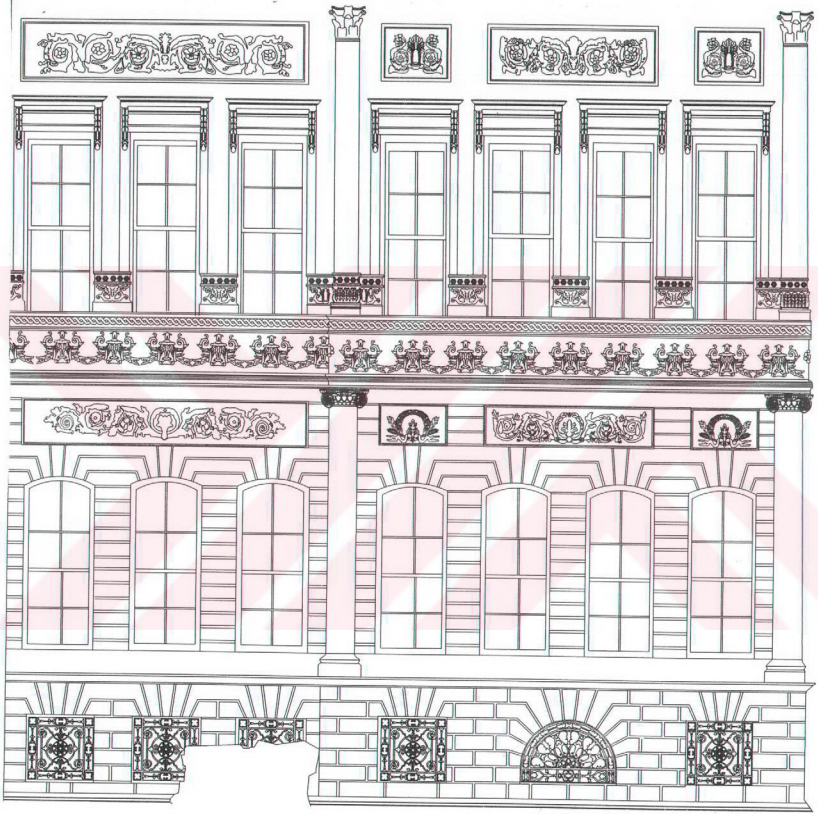
Şekil B.2: Dolmabahçe Sarayına ait 1/100 ölçekli ortofoto



Şekil B.3: Dolmabahçe Sarayına ait 1/25 ölçekli bir detay



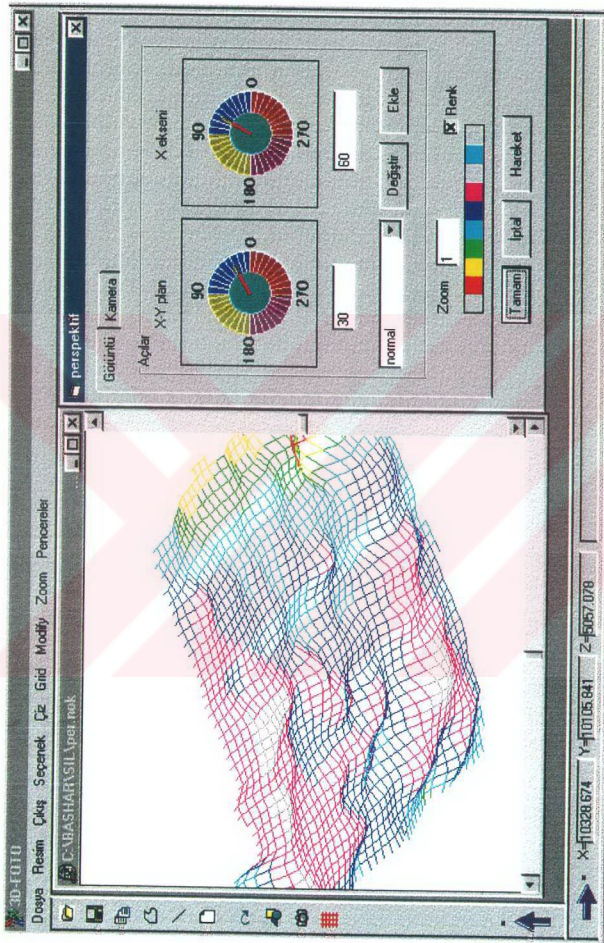
Şekil B.4: Dolmabahçe Sarayına ait 1/25 ölçekli bir detay



Şekil B.5: Dolmabahçe Sarayına ait 1/100 ölçekli bir detay



Şekil C.1: 3D-Foto programın genel görüntü



Şekil C.2: 3D-Foto programın genel görüntü ve üçgenleme menüsü

ÖZGEÇMİŞ

Bashar Bashir, 1967 yılında Halep'te doğdu. İlk öğrenimini Al-Tatbikat İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini Al-Maari Okulu'nda tamamladı. 1984 yılında Halep Üniversitesi İnşaat Fakültesi'nde başladığı lisans eğitimini 1989 yılında tamamladı. 1990 yılında Tishrin Barajı'nda çalışmaya başladı ve 1991 – 1993 yılları arasında askerlik görevini tamamladı. Aynı yıl Halep Üniversitesi İnşaat Fakültesi'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 1994 yılında İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nde doktora eğitimine başladı. Evli olup bir çocuk babasıdır.