

YAKIN YER FOTOGRAMETRİSİNİN ANALİTİK ÇÖZÜMÜ

Abdullah PEKTEKİN

ÖZET

Bu yazıda yersel fotogrametrik alımlarda kullanılan her türlü kameralar ile çekilmiş resimlerden, birtakım hesaplamalar sonucu sayısal değerlerin elde edilmesi ve bu hesaplamalar ile de resim koordinat ölçülerinin, değişik sistemlere dönüştürülmesi amaçlanmıştır.

1. GİRİŞ

Yer fotogrametrisinde resimler ya çift resim ya da tek resim alım kameraları ile çekilir. Başka bir deyişle resimlerin alımında, cismin uzaklığına bağlı olarak çift resim ve tek resim aletleri kullanılır. Çoğu kez 25 metreye kadar uzaklıkta, stereometrik kameralarla çift fotoğraf alımı yapılır. Bu uzaklıktan sonra tek resim alımı için tek resim alım kameraları veya fototeodolitler kullanılır. 25 metreye kadar olan yerlerde, teknik alanlarda uygulanan fotogrametriye YAKIN YER FOTOGRAMETRİSİ denilir.

Son yıllarda bilhassa mimarlık, mühendislik, tıp, arkeoloji ve endüstri fotogrametrisinde, yersel fotogrametrik alımlar için imal edilen ölçü kameraları (metrik kameralar) yerine ucuz, basit ve piyasada bol bulunan metrik olmayan kameraların kullanımı için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Metrik olmayan kameralar resim çekiminde kullanılan iç yöneltme elemanları, kamera ve objektife ilişkin teknik değerleri bilinmeyen küçük alım aletleridir. Bunlar :

- * Her türlü amatör fotoğraf makinaları,
- * Amatör kameraları,
- * Teknik değerleri bilinmeyen her türlü ayarları bozulmuş yersel kameralar

olabilir.

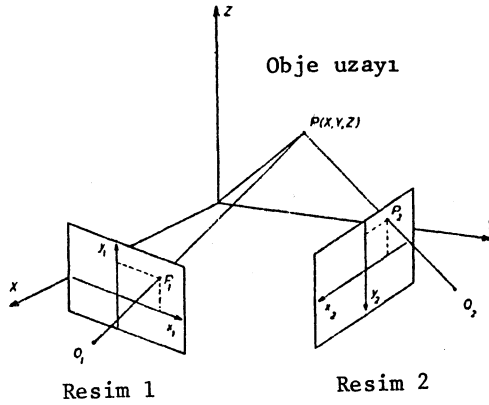
Fotogrametrik değerlendirme denince, fotoğrafı çekilmiş obje veya arazinin benzeri olan ölçekli plan ya da haritanın yapılması veya sayısal değer-

lerin elde edilmesi anlaşılır. Yer fotogrametrisinde analitik değerlendirme- nin temeli, komparatorla ölçülen resim koordinatlarının istenilen sisteme örneğin arazi koordinat sistemine dönüştürülme sürecidir. Resimlerin anali- tik değerlendirilmesi, geometrik anlamda merkezsel izdüşümle elde edilen re- simlerin sayısal olarak paralel projeksiyon durumuna getirilmesi işlemidir.

2. MATEMATİKSEL İFADELER

2.1. Uzayda Genel Kolinearite

Birbirine göre iki kolinear noktalar $P(X,Y,Z)$ ve $\bar{P}(x,y,z)$ olduğuna göre bunlar 3 boyutlu uzayda aşağıdaki transformasyon formülü ile bağımlıdır. Üç noktanın bir doğru üzerinde olmasına " kolinearite koşulu " adı verilir. Re- sim noktası, projeksiyon merkezi ve arazi noktasının bir doğru üzerinde ol- ması koşuludur, (Şekil-1).



Şekil-1

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{a_{11}X + a_{12}Y + a_{13}Z + a_{14}}{a_{41}X + a_{42}Y + a_{43}Z + a_{44}} \\
 y &= \frac{a_{21}X + a_{22}Y + a_{23}Z + a_{24}}{a_{41}X + a_{42}Y + a_{43}Z + a_{44}} \\
 z &= \frac{a_{31}X + a_{32}Y + a_{33}Z + a_{34}}{a_{41}X + a_{42}Y + a_{43}Z + a_{44}}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Bu izdüşüm denklemleri tersi içinde geçerlidir. Yalnız çözüm için :

$$\det (A) = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} \neq 0 \quad (2)$$

olmalıdır. Homogen koordinatlar yani $P(X,Y,Z,T)$ ve $P(x,y,z,t)$ kullanılırsa, (1) izdüşüm denklemleri de benzer şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{bmatrix} \quad (3)$$

Matris gösterimi ile,

$$x = A X \quad (4)$$

ve ters izdüşüm için (X bilinmeyen vektörünün matematik çözümü)

$$X = A^{-1}x \quad (5)$$

olur.

2.2. Merkezsel Projeksiyonun İzdüşüm Denklemleri

$P(X,Y,Z)$ bir uzay noktası ve karşı $P(x,y)$ resim noktası ise merkezsel projeksiyonun denklemleri :

$$x = \frac{b_{11}X + b_{12}Y + b_{13}Z + b_{14}}{b_{31}X + b_{32}Y + b_{33}Z + b_{34}} \quad (6)$$
$$y = \frac{b_{21}X + b_{22}Y + b_{23}Z + b_{24}}{b_{31}X + b_{32}Y + b_{33}Z + b_{34}}$$

şeklinde yazılır. Burada 12 tane transformasyon parametresi vardır. b_{34} bölmek suretiyle 11 parametreye indirgenir.

$$x = \frac{b_{11}X + b_{12}Y + b_{13}Z + b_{14}}{b_{31}X + b_{32}Y + b_{33}Z + 1} \quad (7)$$

$$y = \frac{b_{21}X + b_{22}Y + b_{23}Z + b_{24}}{b_{31}X + b_{32}Y + b_{33}Z + 1}$$

$$[c_{ij}] = \frac{[b_{ij}]}{b_{34}} \quad i = 1,2,3 \quad j = 1,\dots,4; \text{ (6) ifadesini,}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{bmatrix} \quad (8)$$

şeklinde yazabiliriz. $c_{34} = 1$ olur.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = [b_{ij}] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{bmatrix} = \frac{1}{c_{34}} [c_{ij}] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{bmatrix} \quad (i=1,2,3 ; j=1,\dots,4) \quad (9)$$

$$[b'_{ij}] = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{c_{34}} [c_{ij}] \quad (9.1)$$

Bu 11 temel bağımsız parametreleri 3 matrise ayırarak yazabiliriz.

$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_x & -eC_y & x_o \\ 0 & C_y & y_o \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -x_o \\ 0 & 1 & 0 & -y_o \\ 0 & 0 & 1 & -z_o \end{bmatrix} \quad (10)$$

Sağ taraftaki :

1. matris : İç yöneltmenin 5 parametresi.

$C_x, C_y \dots$ x ve y koordinatlarına bağlı iki kamera sabitesi,

$x_o, y_o \dots$ Resim asal noktasının koordinatları,

e ... Resim koordinat eksenindeki ortogonallığın sapması için faktör,

2. matris : 3 parametrelili ortogonal dönme matrisi.

3. matris : 3 translasyon (öteleme) parametresi.

X,Y,Z ... Obje sisteminde bir noktanın koordinatları,

x,y ... Resim sisteminde karşı gelen noktanın koordinatları.

(10) nolu denklem kamera yöneltmesine ilişkin 11 parametrenin çözümüne dayanır. Bu ifade en genel durum olup 6 dış yöneltme, 3 iç yöneltme ve 2 tane de iç yöneltmeye ait ilave parametreleri içerir. Her fotoğraf için 6 yer kontrol noktasına gereksinim vardır (/6/,s.10). Şayet iç ve dış yöneltme elemanlarından bir kısmı biliniyorsa, daha az nokta ile çözüm olasıdır.

Fotogrametride bu problemin çözümü ;

* Uzay geriden kestirme ile,

* 11 parametrelili dönüşüm ile,

* Kolinearite koşulu temel alınarak ışın demetleri ile,

* Koplanarite koşulu temel alınarak,

değişik şekillerde yapılır. Bu konuda geniş bilgi için (/1,4,5,8/) bakılabilir. Aşağıda 11 parametrenin çözümü için değişik bir yol izlenecektir.

(10) ifadesindeki 11 parametre, 9 bağımsız parametre olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} b'_{ij} \end{bmatrix} = \frac{1}{m_{31}X_o + m_{32}Y_o + m_{33}Z_o} \begin{bmatrix} c & 0 & -x_o \\ 0 & c & -y_o \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -X_o \\ 0 & 1 & 0 & -Y_o \\ 0 & 0 & 1 & -Z_o \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$= \frac{1}{\lambda} \begin{bmatrix} cm_{11}^{-x_o} m_{31} & cm_{12}^{-x_o} m_{32} & cm_{13}^{-x_o} m_{33} & \alpha \\ cm_{21}^{-y_o} m_{31} & cm_{22}^{-y_o} m_{32} & cm_{23}^{-y_o} m_{33} & \beta \\ -m_{31} & -m_{32} & -m_{33} & \lambda \end{bmatrix} \quad (12.1)$$

$$\begin{aligned}
\alpha &= (x_o m_{31} - cm_{11})X_o + (x_o m_{32} - cm_{12})Y_o + (x_o m_{33} - cm_{13})Z_o \\
\beta &= (y_o m_{31} - cm_{21})X_o + (y_o m_{32} - cm_{22})Y_o + (y_o m_{33} - cm_{23})Z_o \\
\lambda &= m_{31}X_o + m_{32}Y_o + m_{33}Z_o
\end{aligned} \tag{12.2}$$

Kamera kalibrasyonunun kesin bir çözümünün yapılabilmesi için iki olanak vardır. Birinci yol (7) nolu meşhur kolinearite denkleminde bulunan 11 transformasyon parametresinden iki tanesini elimine etmektir. Dönme matrisinin ortogonal olmasından dolayı bu denklemler kesin lineer olmamaktadır. İkinci olanak ise her resim için transformasyon parametreleri arasında iki koşulun dikkate alınmasıdır. Burada izdüşüm denklemlerinin lineer formda gösterilen durumu, transformasyon parametresinin belirtimi için kullanılabilir. İkinci yola göre (7)'yi çözelim. Parametreler arasında iki gerekli şartı ortaya koyalım. (11) ve (12.1), 2 ortogonal dönme matrisinden

$$\begin{aligned}
\lambda &= (m_{31}X_o + m_{32}Y_o + m_{33}Z_o), \\
m_{31}^2 + m_{32}^2 + m_{33}^2 &= 1 \text{ (ortogonal matriste biliniyor)}
\end{aligned} \tag{13}$$

$$b_{31}^2 + b_{32}^2 + b_{33}^2 = \lambda^{-2} \tag{14}$$

(14) şöyle bulunur. (9.1) tekrar yazalım.

$$\left[\begin{matrix} b_{ij} \\ b_{ij} \end{matrix} \right] = \left[\begin{matrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & 1 \end{matrix} \right]$$

(9.1) ve (12.1) ifadelerinin 3.satırların kareleri alınıp, karşılaştırılırsa:

$$b_{31}^2 + b_{32}^2 + b_{33}^2 = \frac{1}{\lambda^2} (m_{31}^2 + m_{32}^2 + m_{33}^2) = \lambda^{-2}$$

bulunur.

$$m_{11}m_{31} + m_{12}m_{32} + m_{13}m_{33} = 0 \tag{15}$$

(9.1) ve (12) eşitliklerinden, (15)'e benzer şekilde oluşturalım. Diğer bir

deyişle 1.satırla 3.satırı çarpalım.

$$b_{11}b_{31} + b_{12}b_{32} + b_{13}b_{33} = -\frac{c}{\lambda^2} (m_{11}m_{31} + m_{12}m_{32} + m_{13}m_{33}) + \frac{x_0}{\lambda^2} (m_{31}^2 + m_{32}^2 + m_{33}^2)$$

$$x_0 = (b_{11}b_{31} + b_{12}b_{32} + b_{13}b_{33})\lambda^2 \quad (16)$$

elde edilir.

$$m_{21}m_{31} + m_{22}m_{32} + m_{23}m_{33} = 0 \quad (17)$$

(9.1) ve (12) den (16)'ya benzer olarak :

$$y_0 = (b_{21}b_{31} + b_{22}b_{32} + b_{23}b_{33})\lambda^2 \quad (18)$$

bulunur.

$$m_{11}^2 + m_{12}^2 + m_{13}^2 = 1 \quad (19)$$

(9.1) ve (12) eşitliklerinde, 1.satırın karesini alıp (15) ve (19) dikkate alınırsa

$$b_{11}^2 + b_{12}^2 + b_{13}^2 = \frac{1}{\lambda^2} (c^2(m_{11}^2 + m_{12}^2 + m_{13}^2) + x_0^2(m_{31}^2 + m_{32}^2 + m_{33}^2) - 2cx_0(m_{11}m_{31} - m_{12}m_{32} - m_{13}m_{33})) \quad (20)$$

$$c^2 = (b_{11}^2 + b_{12}^2 + b_{13}^2)\lambda^2 - x_0^2$$

olur. Benzer şekilde :

$$m_{21}^2 + m_{22}^2 + m_{23}^2 = 1 \quad (21)$$

$$c^2 = (b_{21}^2 + b_{22}^2 + b_{23}^2)\lambda^2 - y_0^2 \quad (22)$$

(20), (22), (18), (16) ve (14) eşitliklerinden aşağıdaki gibi yazılırsa :

$$\begin{aligned}
& (b_{11}^2 + b_{12}^2 + b_{13}^2) - (b_{21}^2 + b_{22}^2 + b_{23}^2) + ((b_{21}b_{31} + b_{22}b_{32} + b_{23}b_{33})^2 \\
& - (b_{11}b_{31} + b_{12}b_{32} + b_{13}b_{33})^2) (b_{31}^2 + b_{32}^2 + b_{33}^2)^{-1} \\
& - \frac{1}{\lambda^2} (c^2 + x_o^2) - \frac{1}{\lambda^2} (c^2 + y_o^2) + \left(\frac{y_o^2}{\lambda^2 \lambda^2} - \frac{x_o^2}{\lambda^2 \lambda^2} \right) \lambda^2 = 0
\end{aligned}$$

elde edilir. Sonuç olarak transformasyon parametreleri arasında 1.şart ;

$$\begin{aligned}
& (b_{11}^2 + b_{12}^2 + b_{13}^2) - (b_{21}^2 + b_{22}^2 + b_{23}^2) ((b_{21}b_{31} + b_{22}b_{32} + b_{23}b_{33})^2 \\
& - (b_{11}b_{31} + b_{12}b_{32} + b_{13}b_{33})^2) (b_{31}^2 + b_{32}^2 + b_{33}^2)^{-1} = 0
\end{aligned} \tag{23}$$

bulunur.

$$m_{11}m_{21} + m_{12}m_{22} + m_{13}m_{23} = 0 \tag{24}$$

ve (12)'den,

$$x_o y_o = (b_{11}b_{21} + b_{12}b_{22} + b_{13}b_{23}) \lambda^2 \tag{25}$$

(25), (14), (16) ve (18) eşitliklerinden ;

$$\begin{aligned}
& (b_{11}b_{21} + b_{12}b_{22} + b_{13}b_{23}) - (b_{31}^2 + b_{32}^2 + b_{33}^2)^{-1} (b_{11}b_{31} + b_{12}b_{32} + b_{13}b_{33}) \\
& (b_{21}b_{31} + b_{22}b_{32} + b_{23}b_{33}) = \frac{x_o y_o}{\lambda^2} = \lambda^2 \left(\frac{x_o}{\lambda^2} \cdot \frac{y_o}{\lambda^2} \right) = 0
\end{aligned}$$

bulunur. İkinci şart buradan yazılır.

$$\begin{aligned}
& (b_{11}b_{21} + b_{12}b_{22} + b_{13}b_{23}) - (b_{31}^2 + b_{32}^2 + b_{33}^2)^{-1} (b_{11}b_{31} + b_{12}b_{32} + b_{13}b_{33}) \\
& (b_{21}b_{31} + b_{22}b_{32} + b_{23}b_{33}) = 0
\end{aligned} \tag{26}$$

(23) ve (26) şartı bir kalibrasyon sorunu olduğu zaman yapılmalıdır.

Eğer alım kamerasının (ölçü kamerası) iç yöneltmesi belirli ise, (23) ve (26) şartları yanında diğer üç ilişkiyide, transformasyon parametreleri sağlamalıdır. İç yöneltmenin bilinen büyüklükleri (16), (18) ve (20) veya (22) denklemlerine de uymalıdır.

2.3. Transformasyon Parametrelerinin Belirtilmesi

Yukarda işaret edildiği gibi (7) denkleminde pas noktalarının yardımı ile $[b'_{ij}]$ parametreleri belirtilir. Transformasyon parametrelerinin tayini için fazla pas noktası olduğu zaman bu parametreler dengelemeli olarak bulunur.

Bu incelemede pas noktalarının (yer kontrol noktaları) hatasız kabul edilmiş ve her resimde i noktası için 2 hata denklemi yazılır.

$$x_i + v_{x_i} = \frac{b_{11}X_i + b_{12}Y_i + b_{13}Z_i + b_{14}}{b_{31}X_i + b_{32}Y_i + b_{33}Z_i + 1} \quad (27)$$

$$y_i + v_{y_i} = \frac{b_{21}X_i + b_{22}Y_i + b_{23}Z_i + b_{24}}{b_{31}X_i + b_{32}Y_i + b_{33}Z_i + 1}$$

Parametreler arasındaki ilave iki veya beş şart (kalibrasyon veya yöneltme) aşağıdaki gibi iki değişik dengeleme sistemi dikkate alınarak belirlenir.

(a) Bilinmeyenler arasında şart denklemleri bulunan endrekt ölçüler dengelemesi.

(b) İlave şartları içeren hata denklemleri.

(27) denklemleri, ilave şartlardaki parametreler lineer değildir. Bundan dolayı dengelemeye iteratif olarak ulaşılır ve aşağıda 11 lineer denklemden hesap edilen yaklaşık değerler kullanılır.

$$X_i b_{11} + Y_i b_{12} + Z_i b_{13} + b_{14} - x_i X_i b_{31} - x_i Y_i b_{32} - x_i Z_i b_{33} - x_i = 0 (i=1...6)$$

$$X_i b_{21} + Y_i b_{22} + Z_i b_{23} + b_{24} - y_i X_i b_{31} - y_i Y_i b_{32} - y_i Z_i b_{33} - y_i = 0 (i=1...5)$$

(28)

Burada bulunan değerler (b ler) (7) denkleminde konur ve böylece iterasyona devam edilir. Bu işlem dengelemeye giren tüm (örneğin, 6 pas noktası) noktalar için yapılır.

Dengeleme ile belirtilen transformasyon parametrelerinden iç yöneltme elemanları direkt olarak bulunabilir. (16) ve (18) denklemleri ile resim asal noktasının koordinatları ve (20) ve (22) ilede kamera sabitesi doğrudan bulunur. (9.1) ve (12.2)'den ;

$$b_{14} = \frac{1}{\lambda} ((x_o m_{31} - cm_{11})X_o + (x_o m_{32} - cm_{12})Y_o + (x_o m_{33} - cm_{13})Z_o) \quad (29.1)$$

$$b_{24} = \frac{1}{\lambda} ((y_o m_{31} - cm_{21})X_o + (y_o m_{32} - cm_{22})Y_o + (y_o m_{33} - cm_{23})Z_o) \quad (29.2)$$

$$\lambda = m_{31}X_o + m_{32}Y_o + m_{33}Z_o \quad (29.3)$$

$$1 = \frac{m_{31}}{\lambda} X_o + \frac{m_{32}}{\lambda} Y_o + \frac{m_{33}}{\lambda} Z_o \quad (29.4)$$

ve ayrıca,

$$b_{11}X_o + b_{12}Y_o + b_{13}Z_o + b_{14} = 0 \quad (30.1)$$

$$b_{21}X_o + b_{22}Y_o + b_{23}Z_o + b_{24} = 0 \quad (30.2)$$

$$b_{31}X_o + b_{32}Y_o + b_{33}Z_o + 1 = 0 \quad (30.3)$$

yazılır (29.4) ve (30.3) ifadelerinin karşılaştırılmasından ;

$$m_{31} = -\lambda b_{31} ; m_{32} = -\lambda b_{32} ; m_{33} = -\lambda b_{33} \quad (31)$$

elde edilir. (29.1) ve (29.2) deki b_{14} ve b_{24} değerleri (30.1) ve (30.2) de yerine konursa, (m_{11}, m_{12}, m_{13}) ve (m_{21}, m_{22}, m_{23}) elemanları ;

$$b_{11}X_o + b_{12}Y_o + b_{13}Z_o + \frac{1}{\lambda} ((x_o m_{31} - cm_{11})X_o + (x_o m_{32} - cm_{12})Y_o + (x_o m_{33} - cm_{13})Z_o) = 0$$

$$X_o (b_{11} + \frac{(x_o m_{31} - cm_{11})}{\lambda}) = 0 \quad m_{11} = (\lambda b_{11} + x_o m_{31})/c \quad (32)$$

bulunur. Aynı şekilde Y_o , Z_o katsayıları sıfıra eşitlenerek m_{12} , m_{13} belirlenir.

$$m_{12} = (\lambda b_{12} + x_o m_{32})/c \quad (33)$$

$$m_{13} = (\lambda b_{13} + x_o m_{33})/c \quad (34)$$

$$b_{21}X_o + b_{22}Y_o + b_{23}Z_o + \frac{1}{\lambda} ((y_o m_{31} - cm_{21})X_o + (y_o m_{32} - cm_{22})Y_o + (y_o m_{33} - cm_{23})Z_o) = 0 \quad (35)$$

$$X_o (b_{21} + \frac{1}{\lambda} (y_o m_{31} - cm_{21})) = 0 \quad m_{21} = (\lambda b_{21} + y_o m_{31})/c$$

$$m_{22} = (\lambda b_{22} + y_o m_{32})/c \quad (36)$$

$$m_{23} = (\lambda b_{23} + y_o m_{33})/c \quad (36.1)$$

bulunur. (30) nolu denklemler ile de X_o , Y_o , Z_o projeksiyon merkezinin koordinatları hesap edilir.

Dengeleme suretiyle belirtilen transformasyon parametreleri ile kalibrasyon yani yöneltme probleminde çözülür. Fotogrametrinin topoğrafya dışında kullanım alanlarında, genellikle obje uzayındaki noktaların koordinatlarının belirtilmesi istendiğinden bu parametreler kaideten enteresan değildir. Bu transformasyon parametreleri dikkate alınarak, aşağıdaki gibi obje uzayındaki noktaların koordinatları belirlenir.

2.4. Objeye Uzayındaki Noktaların Koordinatlarının Belirtilmesi

Objedeki noktaların koordinatları, yukarıda belirtilen transformasyon parametreleri yardımı ile, ölçülen komparator koordinatları kullanılarak belirtilir. En az iki resimde uygun noktalar dikkate alınır, hata denklemlerini endrekt ölçüler dengelemesi kullanımı ile (7) eşitliklerine göre dengeleme yapılır. n resminde her P_i noktası için hata denklemleri ;

$$\begin{aligned} x_{i,n} + v_{x_{i,n}} &= \frac{b_{11}^n X_i + b_{12}^n Y_i + b_{13}^n Z_i + b_{14}^n}{b_{31}^n X_i + b_{32}^n Y_i + b_{33}^n Z_i + 1} \\ y_{i,n} + v_{y_{i,n}} &= \frac{b_{21}^n X_i + b_{22}^n Y_i + b_{23}^n Z_i + b_{24}^n}{b_{31}^n X_i + b_{32}^n Y_i + b_{33}^n Z_i + 1} \end{aligned} \quad (37)$$

$x_{i,n}$, $y_{i,n}$ n resminde P_i noktasının ölçülen koordinatları,

$v_{x_{i,n}}$, $v_{y_{i,n}}$ x ve y koordinatlarına ait düzeltmeler,

$\begin{bmatrix} b'_{ij} \end{bmatrix}$ n resminin 11 transformasyon parametresi,

X_i , Y_i , Z_i Objedeki P_i noktasının bilinmeyen koordinatları.

(37) denklemleri bilinmeyenlerin lineer kullanılır fonksiyonları haline getirilir. Böylece iteratif bir çözüm mümkün olur. Eğer iki resimden P obje noktasının x, y, \bar{x} ölçülen koordinatları alınır, (7)'den aşağıdaki lineer üç denklem ile bilinmeyen koordinatlar için uygun yaklaşık değerler elde edilir.

$$(xb_{31}-b_{11})X + (xb_{32}-b_{12})Y + (xb_{33}-b_{13})Z + x - b_{14} = 0$$

$$(yb_{31}-b_{21})X + (yb_{32}-b_{22})Y + (yb_{33}-b_{23})Z + y - b_{24} = 0 \quad (38)$$

$$(\bar{x}b_{31}-\bar{b}_{11})X + (\bar{x}b_{32}-\bar{b}_{12})Y + (\bar{x}b_{33}-\bar{b}_{13})Z + \bar{x} - \bar{b}_{14} = 0$$

3. YAKIN YER FOTOGRAMETRİSİNİN ANALİTİK ÇÖZÜMÜNDE İŞLEM SIRASI

1. $\begin{bmatrix} b'_{ij} \end{bmatrix}$, 11 Transformasyon Parametresinin Çözümü.

2. İlave Şartların ve Yönelme Elemanlarının Belirtilmesi.

2.1. İç Yönelme Elemanlarının Hesabı :

a. (14) ifadesinden λ çözülür.

b. (16) ve (18) ifadelerinden x_o , y_o bulunur.

c. (20) ve (22) ifadelerinden kontrollü olarak c kamera sabitesi belirlenir.

d. (23) ve (26) denklemleri, transformasyon parametreleri sağlamalıdır.

2.2. Dış Yönelme Elemanlarının Hesabı :

a. (30.1), (30.2), (30.3) denklemlerinden X_o , Y_o , Z_o bulunur.

b. Ortogonal dönme matrisinin elemanları, $[b'_{ij}]$ transformasyon parametrelerinden faydalanarak belirlenir.

* m_{31}, m_{32}, m_{33} : (31) den,

* m_{11}, m_{12}, m_{13} : (32), (33), (34) den,

* m_{21}, m_{22}, m_{23} : (35), (36), (36.1) denklemlerinden bulunur.

Dönme matrisinin 9 elemanı böylece hesaplanır. Sonra dönme açıları belirlenir. (11) nolu formüle göre $[b'_{ij}]$ nin üç alt matrisi ayrı ayrı hesaplanmış olur.

3. Obje Uzayındaki Yeni Noktaların "Koordinatlarının" Hesabı.

İteratif bir yöntemle (38) ve (37) nolu ifadelerden bu yeni noktaların koordinatları hesaplanır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Lineer transformasyonun, lineer gösterim özelliklerinden faydalanarak bir kameranın yöneltme ve kalibrasyon problemi için kesin bir çözüm yöntemi verilmiştir. Transformasyon parametreleri, pas noktaları temel alınarak iteratif olarak belirtilir. İkinci aşamada ise obje uzayında yeni noktaların koordinatları hesaplanır.

Elektronik ve buna bağlı olarak bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel bir şekilde firmalarca birbiri ardına yeni analitik değerlendirme aletleri üretilmektedir. Bu tür aletler her türlü fotogrametrik problemlerin çözümüne olanak sağlamakla beraber büyük bir zaman tasarrufu, doğruluk, ekonomi temin etmekte ve konforunda beraberinde getirmektedir. Bu tür analitik problemlerin çözümüne uygun program hazırlanır ve uygulamada rahatça her zaman kullanılabilir.

K A Y N A K L A R

- /1/ Bopp, H. : Ein Orientierungs-und Kalibrierungsverfahren für
Krauss, H. nichttopographische Anwendungen der Photogrammetrie.
Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 5/1978, s:182-188.
- /2/ Hadem, I. : Bundle Adjustment in Industrial Photogrammetry.
Hamburg Kongresi 1980, Comm. V, s: 262-275.
- /3/ Jahn, J. : Beitrag zur analytischen Nahbildmessung. ÖZfV, 1978,
s : 158-169.
- /4/ Kruck, E. : Lösung grosser Gleichungssysteme für photogrammetrische
Blockausgleichungen mit erweitertem funktionalen Modelle.
WA TUH Nr. 128-Hannover 1983.
- /5/ Okamoto, A. : Orientation and Construction of Models. Part IV:
Further Considerations in Close-Range Photogrammetry.
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,
Vol. 48, No. 8, August 1982, pp 1353-1363.
- /6/ Pektekin, A. : Yersel Fotogrametride Degerlendirme Aletleri ve Yön-
temleri Açık Maden İşletmelerine Uygulanması, Hacım
Hesaplarının Programlanması. YÜ Fen Bilimleri Ensti-
tüsü Yaz Okuluna sunulan bildiri, 22 s.,10-14/6/1985.
- /7/ Stephani, M. : Methodische Grundlagen der Nahbereichsphotogrammetrie
Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan, 6/981.
- /8/ Tüdeş, T. : Yer Fotogrametrisi. KÜ-Müh.-Mim.Fak.284 sa., 1986.