

# فصل پنجم اتصال و تعدیل همزمان عکسها

## (مثلث‌بندی هوایی دسته شعاعها)

### (Bundle Adjustment)

#### ۵-۱) مقدمه

#### هدف در این فصل:

اتصال عکسها برای تشکیل بلوک در قالب مدل سرشکنی خطاها (ترفیعی و تقاطعی همزمان همه عکسها)  
بررسی انتشار خطا در بلوک

معادله ریاضی مورد استفاده: معادله ریاضی مورد استفاده در این روش، شرط هم خطی است.

$$x - x_0 = -c \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$
$$y - y_0 = -c \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

**نکاتی برای یادآوری:** اثبات شرط هم خطی، سیستم مختصات عکسی، ماتریس و عناصر دوران، مرکز تصویر، خطاهای سیستماتیک عکسی

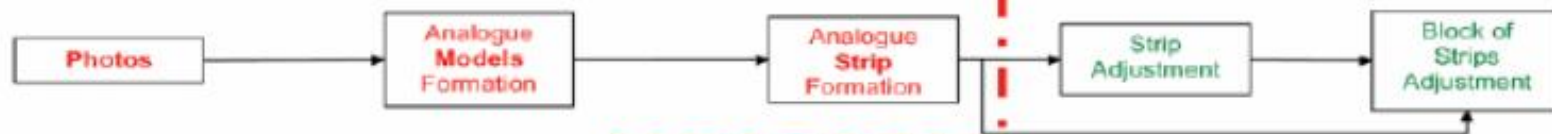
شرط هم خطی رابطه مستقیمی است بین مختصات نقاط عکس و مختصات نقاط زمین با در نظر گرفتن پارامترهای توجیه داخلی و خارجی.

شرط هم خطی، رابطه‌ای غیر خطی است و برای محاسبات سرشکنی باید بر حسب مجهولات خطی شود. بنابراین محاسبات سرشکنی نیاز به مقادیر اولیه دارند. همچنین محاسبات باید با تکرار انجام شود.

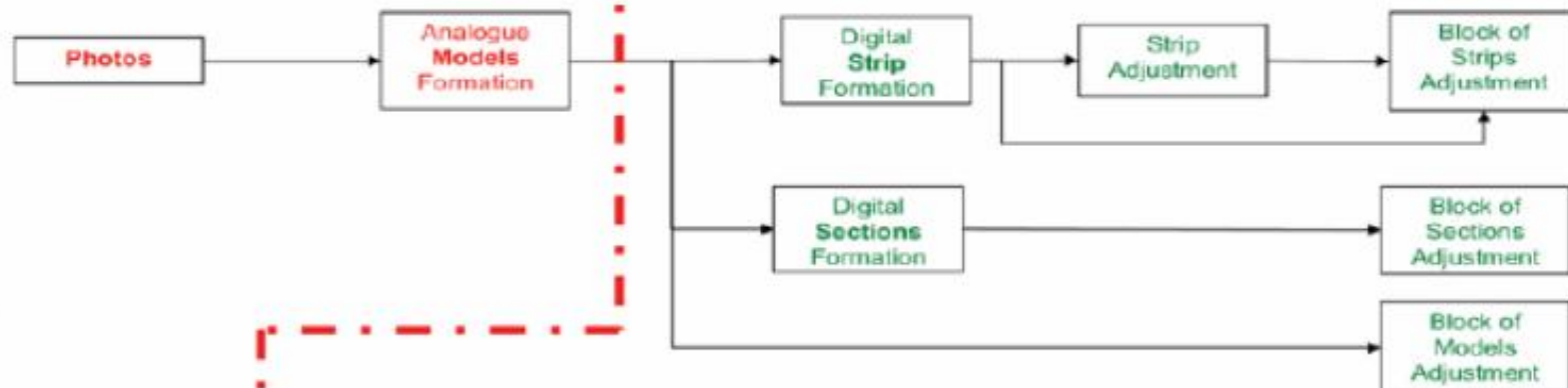
## عملیات دستگاہی

## محاسبات رقومی

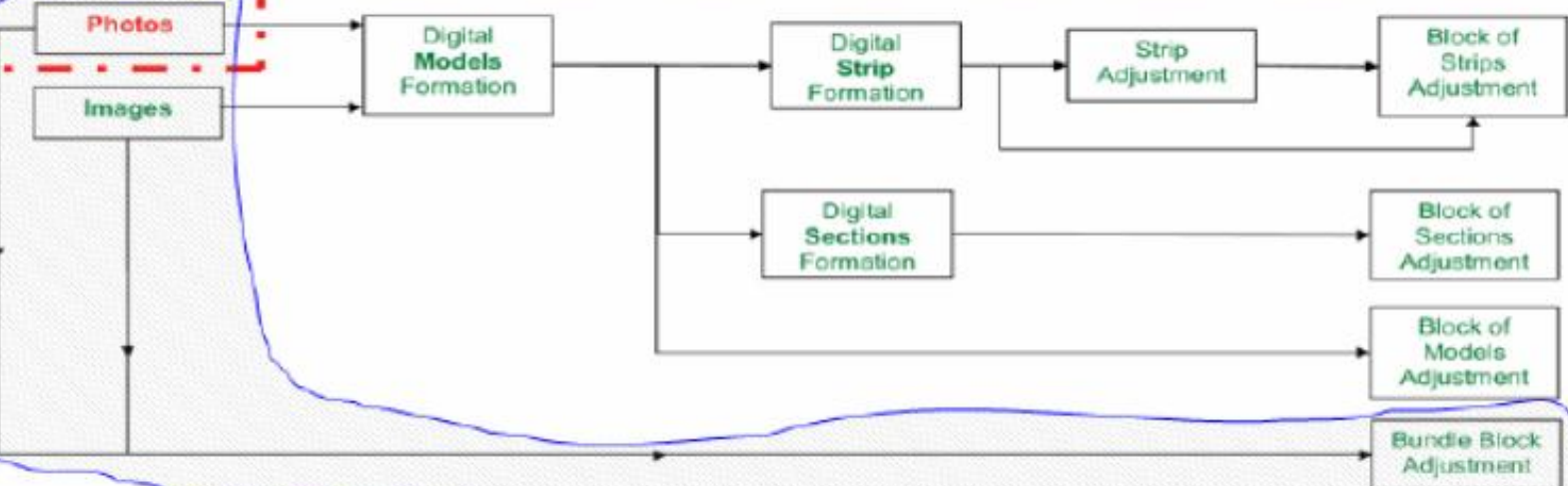
مثلت بندی آنالوگ



مثلت بندی نیمه تحلیلی

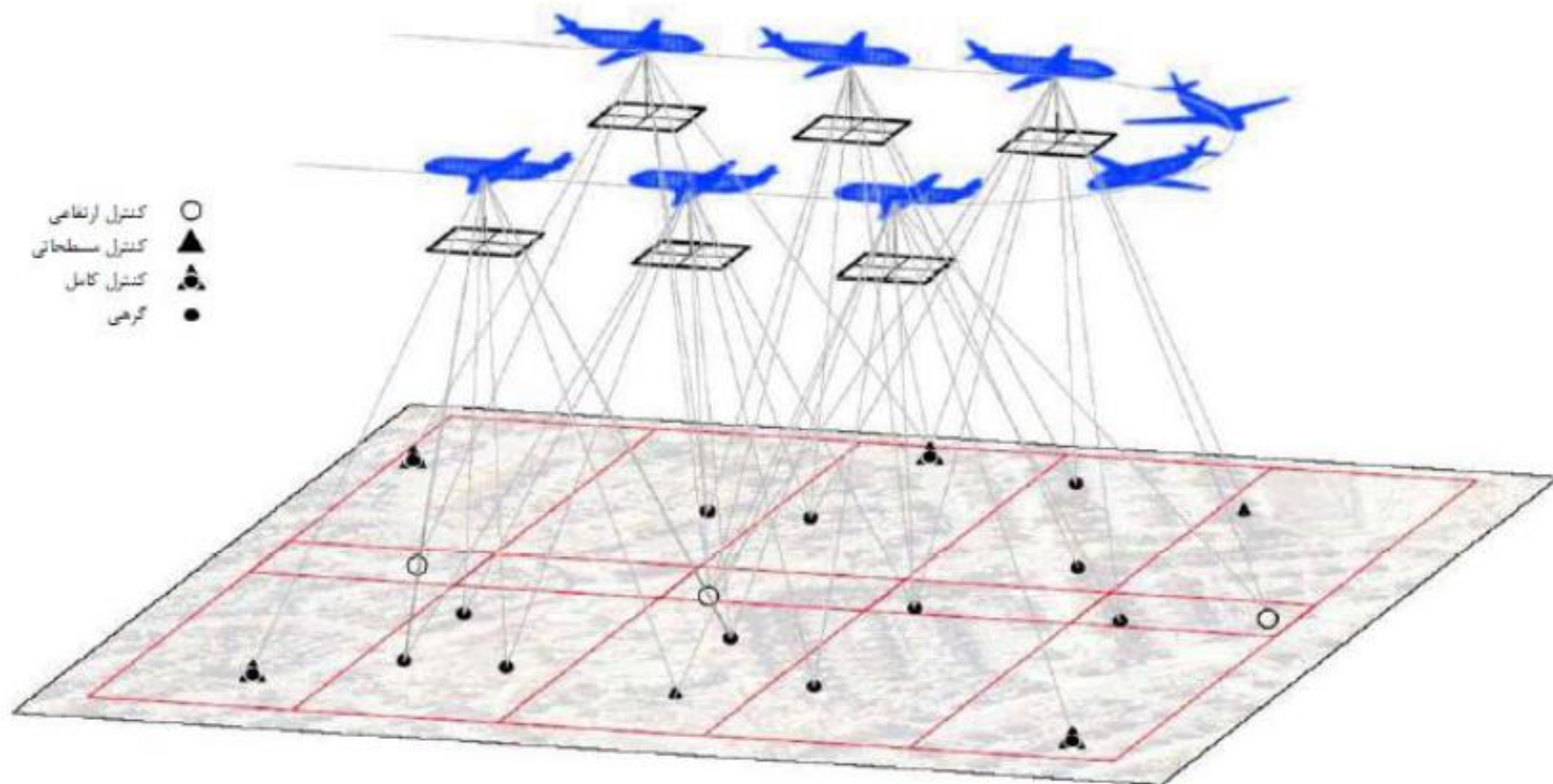


مثلت بندی تحلیلی



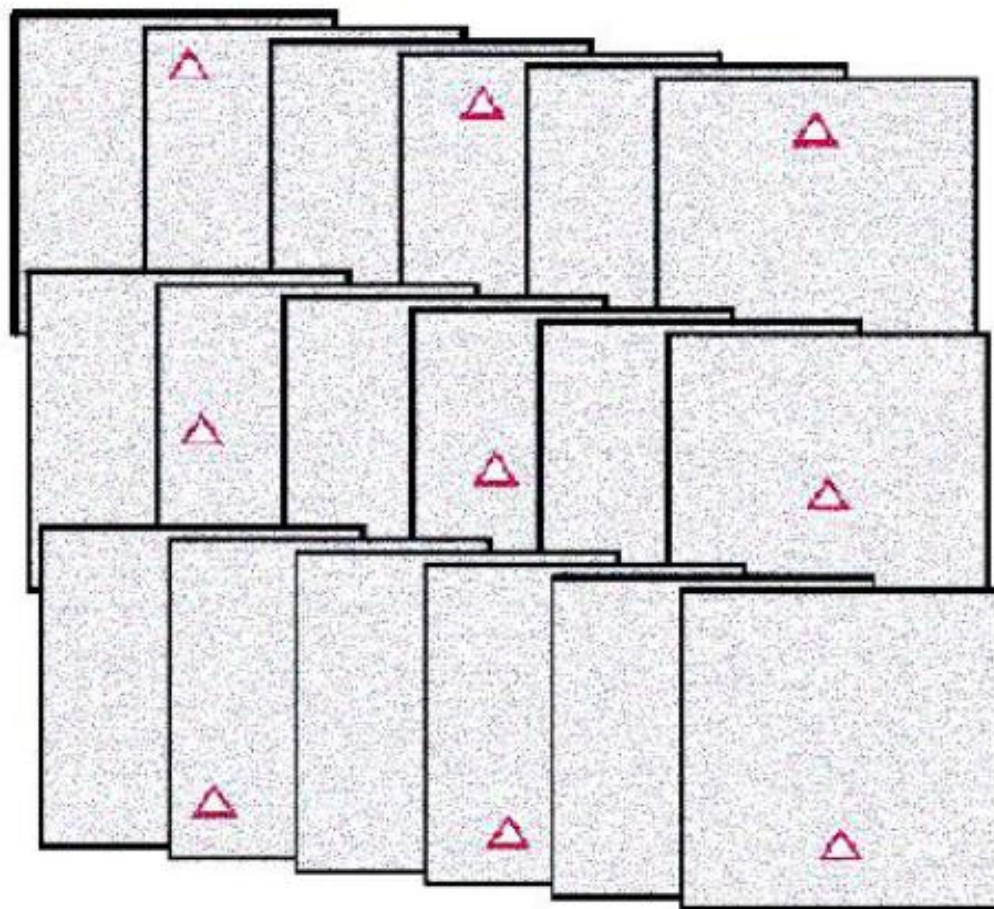
## ۵-۲) سرشکنی بلوک فتوگرامتری حاصل از عکسها

همانطور که در فلوچارت مثلث‌بندی دیده می‌شود، سرشکنی بلوک حاصل از عکسها باید تحلیلی انجام شود. با استفاده از کمپاراتور (و یا دستگاههای تبدیل تحلیلی به صورت کمپاراتور) مختصات نقاط هر عکس قرائت می‌شود. شکل زیر ساختار بلوک حاصل از عکسها را نشان می‌دهد.





تصویر زیر، بلوک حاصل از عکسهای پوشش دار را که با هم موازی یک شده‌اند، نشان می‌دهد. پوشش حداقل برای عکسهای هوایی ۶۰٪ طولی و ۲۰٪ عرضی است. بنابراین این هر عکس، حداقل با دو عکس بعد از خود و قبل از خود و پنج عکس از باند بالا یا پایین خود پوشش دارد. (یک نقطه گرهی در چند عکس می‌تواند دیده شود؟)



## الف - معادله خطی شده شرط هم خطی

معادله مشاهده شرط هم خطی به صورت زیر نوشته می شود:

$$f_1 = x + v_x = x_0 - c \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$
$$f_2 = y + v_y = y_0 - c \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

فرم خطی شده معادلات شرط هم خطی بر حسب متغیرهای آن به صورت زیر است. (برای دیدن مراحل مشتق گیری به ضمیمه کتاب Elements of Photogrammetry, by Wolf رجوع نمایید.)

$$x + v_x = f_1^0 + x_0 + a_1.c + b_{11}d\omega + b_{12}d\phi + b_{13}d\kappa + b_{14}dX_0 + b_{15}dY_0 + b_{16}dZ_0 - b_{14}dX - b_{15}dY - b_{16}dZ$$
$$y + v_y = f_2^0 + y_0 + a_2.c + b_{21}d\omega + b_{22}d\phi + b_{23}d\kappa + b_{24}dX_0 + b_{25}dY_0 + b_{26}dZ_0 - b_{24}dX - b_{25}dY - b_{26}dZ$$

و با ساده کردن داریم:

$$dx + v_x = x_0 + a_1.c + b_{11}d\omega + b_{12}d\phi + b_{13}d\kappa + b_{14}dX_0 + b_{15}dY_0 + b_{16}dZ_0 - b_{14}dX - b_{15}dY - b_{16}dZ$$
$$dy + v_y = y_0 + a_2.c + b_{21}d\omega + b_{22}d\phi + b_{23}d\kappa + b_{24}dX_0 + b_{25}dY_0 + b_{26}dZ_0 - b_{24}dX - b_{25}dY - b_{26}dZ$$

با معلوم و ثابت بودن عناصر توجیه داخلی  $(c, x_0, y_0)$ ، ضرایب و جمله‌های مربوط به آنها حذف می‌شوند.

$$\begin{aligned} dx + v_x &= b_{11}d\omega + b_{12}d\varphi + b_{13}d\kappa + b_{14}dX_0 + b_{15}dY_0 + b_{16}dZ_0 - b_{14}dX - b_{15}dY - b_{16}dZ \\ dy + v_y &= b_{21}d\omega + b_{22}d\varphi + b_{23}d\kappa + b_{24}dX_0 + b_{25}dY_0 + b_{26}dZ_0 - b_{24}dX - b_{25}dY - b_{26}dZ \end{aligned}$$

فرم ماتریسی این معادلات با حذف عناصر توجیه داخلی به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} & b_{16} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} & b_{26} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\omega \\ d\varphi \\ d\kappa \\ dX_0 \\ dY_0 \\ dZ_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} b_{14} & b_{15} & b_{16} \\ b_{24} & b_{25} & b_{26} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}$$

و به طور ساده‌تر:

$$A.P + B.C = E$$

پ- معادله مشاهده نقطه کنترل کامل

$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} & b_{16} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} & b_{26} \end{bmatrix}^{i,j} \begin{bmatrix} d\omega \\ d\varphi \\ d\kappa \\ dX_0 \\ dY_0 \\ dZ_0 \end{bmatrix}^i = \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}^{i,j}$$

$$A_{i,j} \cdot P_i = E_{i,j}$$



ت- معادله مشاهده نقطه کنترل مسطحاتی

$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} & b_{16} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} & b_{26} \end{bmatrix}^{i,j} \begin{bmatrix} d\omega \\ d\varphi \\ d\kappa \\ dX_0 \\ dY_0 \\ dZ_0 \end{bmatrix}^i - \begin{bmatrix} b_{16} \\ b_{26} \end{bmatrix}^{i,j} .dZ_j = \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}^{i,j}$$

$$A_{i,j} . P_i + B_{i,j}^{(2)} . dZ_j = E_{i,j}$$

ث- معادلة مشاهدة نقطة كنترول ارتفاعي

$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} & b_{16} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} & b_{26} \end{bmatrix}^{i,j} \begin{bmatrix} d\omega \\ d\varphi \\ d\kappa \\ dX_0 \\ dY_0 \\ dZ_0 \end{bmatrix}^i - \begin{bmatrix} b_{14} & b_{15} \\ b_{24} & b_{25} \end{bmatrix}^{i,j} \begin{bmatrix} dX \\ dY \end{bmatrix}^j = \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}^{i,j}$$

$$A_{i,j}.P_i + B_{i,j}^{(1)}.C_j^{(1)} = E_{i,j}$$

ج- معادله مشاهده نقطه گرهي

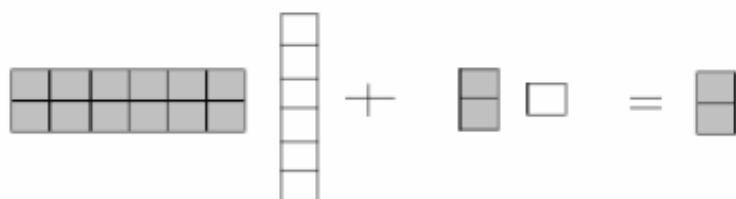
$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} & b_{16} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} & b_{26} \end{bmatrix}^{i,j} \begin{bmatrix} d\omega \\ d\varphi \\ d\kappa \\ dX_0 \\ dY_0 \\ dZ_0 \end{bmatrix}^i - \begin{bmatrix} b_{14} & b_{15} & b_{16} \\ b_{24} & b_{25} & b_{26} \end{bmatrix}^{i,j} \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix}^j = \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}^{i,j}$$

$$A_{i,j}.P_i + B_{i,j}.C_j = E_{i,j}$$

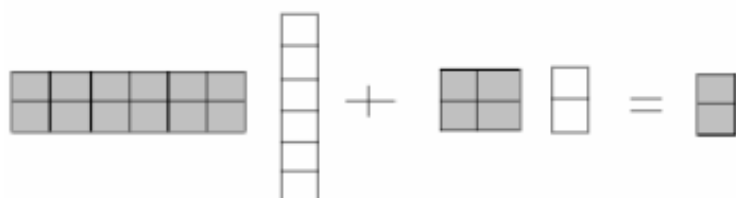
چ- شکل کلی و ابعاد معادلات مشاهدات



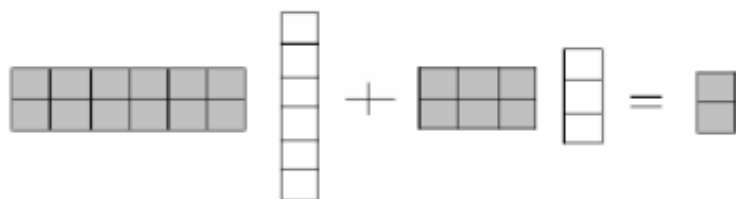
معادله نقطه کنترل کامل



معادله نقطه کنترل مسطحاتی



معادله نقطه کنترل ارتفاعی



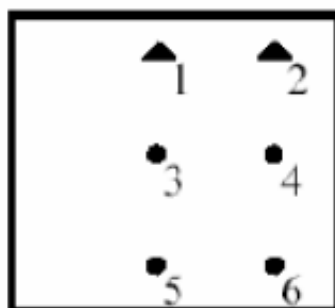
معادله نقطه گرهی

$$A_{ij} \cdot P_i + B_{ij} \cdot C_j = E_{ij}$$

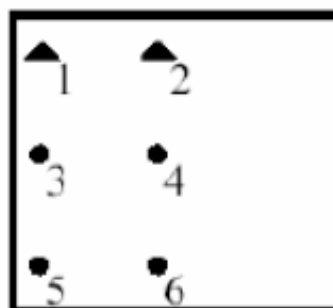


## ۳-۵) مثال ۱ : سرشکنی یک بلوک شش عکسی

با فرض توجیه داخلی معلوم و ثابت:



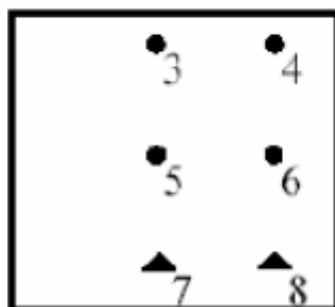
**1**



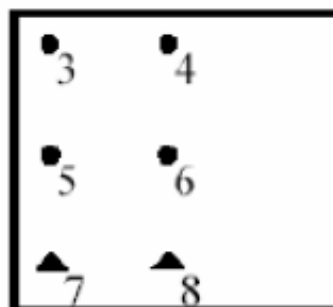
**2**

▲ Control Point

● Tie Point



**3**



**4**

ID	Type	Photo in which it appears				Ft
1	Control	1	2			2
2	Control	1	2			2
3	Tie	1	2	3	4	4
4	Tie	1	2	3	4	4
5	Tie	1	2	3	4	4
6	Tie	1	2	3	4	4
7	Control			3	4	2
8	Control			3	4	2
Sum		6	6	6	6	24

در این بلوک تعداد:

$2 \times 24$  معادله می توان نوشت.

$3 \times 4 + 6 \times 4$  مجهول نیز داریم.

درجه آزادی برابر ۱۲ است.

هر نقطه کنترل در  $n$  عکس  $2n$  معادله اضافه می کند.

هر نقطه گرهی در  $n$  عکس  $2n$  معادله و 3 مجهول اضافه می کند.

	Photo 1	Photo 2	Photo 3	Photo 4	3	4	5	6		
Photo 1	$A_{11}$	0	0	0	0	0	0	0	$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \end{bmatrix} =$	$E_{11}$
	$A_{12}$	0	0	0	0	0	0	0		$E_{12}$
	$A_{13}$	0	0	0	0	$B_{13}$	0	0		$E_{13}$
	$A_{14}$	0	0	0	0	0	$B_{14}$	0		$E_{14}$
	$A_{15}$	0	0	0	0	0	0	$B_{15}$		$E_{15}$
	$A_{16}$	0	0	0	0	0	0	0		$B_{16}$
Photo 2	0	$A_{21}$	0	0	0	0	0	0		$E_{21}$
	0	$A_{22}$	0	0	0	0	0	0		$E_{22}$
	0	$A_{23}$	0	0	0	$B_{23}$	0	0		$E_{23}$
	0	$A_{24}$	0	0	0	0	$B_{24}$	0		$E_{24}$
	0	$A_{25}$	0	0	0	0	0	$B_{25}$		$E_{25}$
	0	$A_{26}$	0	0	0	0	0	0		$B_{26}$
Photo 3	0	0	$A_{37}$	0	0	0	0	0		$E_{37}$
	0	0	$A_{38}$	0	0	0	0	0		$E_{38}$
	0	0	$A_{33}$	0	0	$B_{33}$	0	0		$E_{33}$
	0	0	$A_{34}$	0	0	0	$B_{34}$	0		$E_{34}$
	0	0	$A_{35}$	0	0	0	0	$B_{35}$		$E_{35}$
	0	0	$A_{36}$	0	0	0	0	0		$B_{36}$
Photo 4	0	0	0	$A_{47}$	0	0	0	0		$E_{47}$
	0	0	0	$A_{48}$	0	0	0	0		$E_{48}$
	0	0	0	$A_{43}$	0	0	0	0		$E_{43}$
	0	0	0	$A_{44}$	0	0	0	0		$E_{44}$
	0	0	0	$A_{45}$	0	0	0	0		$E_{45}$
	0	0	0	$A_{46}$	0	0	0	0		$E_{46}$

## ۴-۵) مساله مقادیر تقریبی

سه روش برای محاسبه مقادیر تقریبی پیشنهاد شده است.

### الف - محاسبه بلوک حاصل از باندهای پیوسته

در این روش، از محاسبه مدلها و تشکیل باند پیوسته و اتصال باندها برای تشکیل بلوک استفاده می‌کنیم. در واقع، در ابتدا بلوک را به روش «سرشکنی بلوک حاصل از باندها» که در فصل سوم این جزوه توضیح داده شده است، محاسبه می‌کنیم. به این ترتیب مقادیر تقریبی مناسبی برای نقاط گرهی و مراکز تصویر و دوران  $K$  حاصل می‌شود. با استفاده از این روش، معمولاً یک تا دو تکرار برای باندل اجسمنت کافی خواهد بود. همچنین مشاهدات اشتباه نیز کشف می‌شوند.

### ب - مقادیر خیلی تقریبی

این روش از محاسبات بسیار ساده‌ای که در درس مبانی فتوگرامتری توضیح داده شده است، استفاده می‌کند. برای مثال ارتفاع پرواز با استفاده از مقیاس متوسط عکسبرداری بدست می‌آید. به دلیل تقریبی بودن این محاسبات (بیش از حد تقریبی بودن) و گاه پیش‌فرضهای لازم برای اینگونه روشها، این روشها توصیه نمی‌شود.