الفصل الثاني

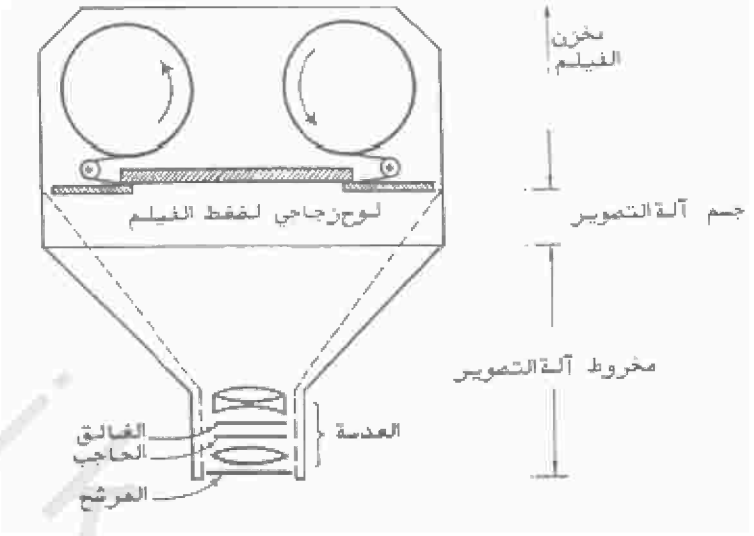
آلات التصوير الجوية

(٢,١) مقدمة

تعتبر آلة التصوير الجوية (aerial camera) الجهاز الرئيس في عمليات المساحة التصويرية الجوية ؛ لأنها تمدنا بالصور التي تتم عليها الدراسة . و حتى يتم فهم هندسة الصورة المستخدمة والقياس عليها فإنه من الضروري التعرف على آلة التصوير الجوية من حيث مكوناتها وطريقة عملها.

(٢,٢) تركيب آلة التصوير الجوية

إن العناصر الأساسية التي تكون آلة التصوير الجوية هي: ١- غرفة الفيلم، ٢- جسم آلة التصوير، ٣- مخروط النظام الضوئي لآلة التصوير . ويوضح الشكل رقم (٢,١) تجميع هذه العناصر الثلاثة و أجزاء كل منها.



الشكل رقم (٢,١). أجزاء آلة التصوير الجوية القياسية.

وفيما يلي نقدم شيئاً من التفصيل عن أهداف ومحتويات عناصر آلة التصوير.

١- مخزن (غرفة) الفيلم **Film Magazine**

وهو الجزء الذي توجد به بكرة يسحب منها الفيلم لتعريضه للأشعة المنعكسة من سطح الأرض. ومن ثم يتم لف الفيلم حول بكرة أخرى ليعاد تخزينه بعد التصوير. و تحوي غرفة الفيلم أيضاً آلة ضبط الفيلم حتى يكون مستوياً أثناء التقاط الصورة ، إضافة إلى آلة تحريك الفيلم لالتقاط صورة أخرى. ولا بد من التذكير هنا بأن عملية ضبط الفيلم مستوياً أثناء عملية التصوير لها أهمية كبرى إذ أن تموج الفيلم يؤدي إلى حدوث تشوهات هندسية في الصورة. وهنالك عدة طرق لإجراء هذه العملية نذكر منها:

أ) ضغط الفيلم على لوح زجاجي يوضع أمام الفيلم: ومن عيوب هذه الطريقة زيادة وزن آلة التصوير بسبب ثقل وزن اللوح الزجاجي نفسه. وكذلك ربما يتعرض هذا اللوح للكسر داخل آلة التصوير إضافة إلى احتمال حدوث انكسار

للأشعة الضوئية خلال مسارها عبر اللوح الزجاجي مما يؤدي إلى أخطاء هندسية في الصورة.

ب) عملية الشد المباشر للفيلم حتى يكون مستوياً أثناء عملية التصوير: و لكن هذا الشد ربما يؤدي إلى تغير في الأبعاد الهندسية للفيلم و بالتالي تنتج أخطاء هندسية في الصورة.

ج) عملية الالتصاق التي تعتمد على سحب الهواء من جسم آلة التصوير حتى يتساوى الضغط الهوائي على الفيلم مما يؤدي إلى استواء كامل للفيلم أثناء التقاط الصورة. هذه الطريقة الأخيرة لا تؤدي إلى تشوه هندسي في الصورة وبالتالي هي الأكثر استخداماً في آلات التصوير الجوية القياسية .

٢- جسم آلة التصوير Camera Body

يحوي جسم آلة التصوير الأجزاء التي تستخدم في تشغيل آلة التصوير مثل القوة الكهربائية و الأجزاء الإلكترونية و يحتوي أيضاً على العناصر التي تمدنا بالمعلومات التي يتم طبعها على الفيلم مثل الرقم التسلسلي للصورة ووقت وتاريخ التقاط الصورة و البعد البؤري للعدسة ورقم خط الطيران .

٣- مخروط آلة التصوير Camera Cone

ويشكل هذا الجزء من آلة التصوير الجزء الأهم حيث إنه يحوي الأجزاء البصرية لآلة التصوير. والهدف من هذا الجزء هو منع أية أشعة ضوئية من التسرب إلى داخل آلة التصوير عدا تلك التي تمر من خلال النظام البصري لآلة التصوير وتثبت أعلى هذا الجزء قطع معدنية ذات أشكال مختلفة تسمى علامات الإسناد Fiducial Marks يتم طبعها على الفيلم أثناء عملية التقاط الصورة. وتظهر علامات الإسناد في الصورة كما في الشكل رقم (٢,٢) . ويكون وضع هذه العلامات إما في الأركان الأربعة للصورة أو

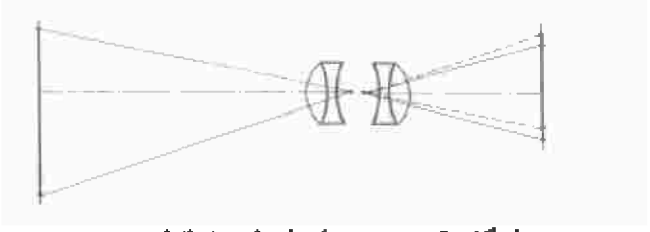
في منتصف الأضلاع الأربعة أو في الثمانية مواضع معاً. وينتج عن تقاطع الخطوط الموصلة بين العلامات المتقابلة نقطة أساس الصورة.

الشكل رقم (٢,٢). شكل و موقع علامات الإسناد في الصورة القياسية [8].

ويوجد في أسفل المخروط الجهاز الضوئي لآلة التصوير والذي يتكون من العدسة lens و الحاجب diaphragm و الغالق shutter و المرشح filter . ولكل من هذه العناصر وظيفته التي سنذكرها فيما يلي:

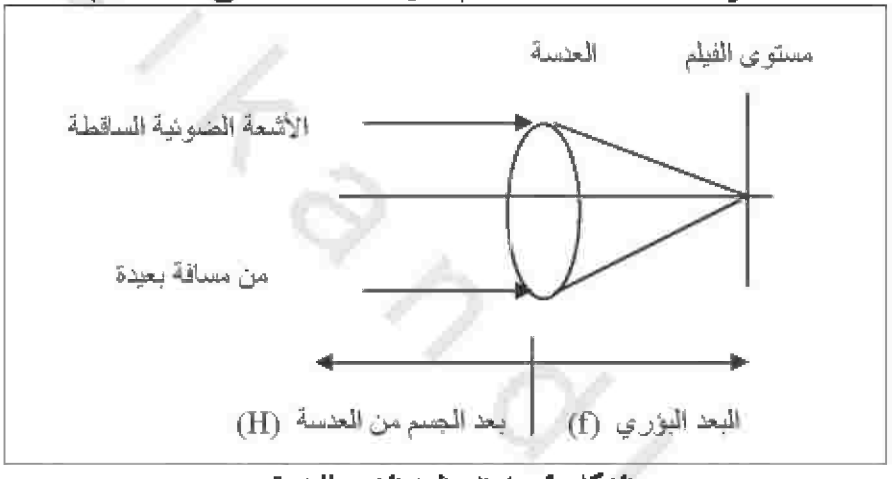
أ) العدسة

(lens) وتتكون العدسة من مجموعة من العدسات مصنوعة من الزجاج و الهدف الأساسي لها هو تجميع الأشعة الضوئية المنعكسة من سطح الأرض على سطح الفيلم الحساس بهدف تكوين الصورة عليه. وتقوم شركات تصنيع عدسات آلات التصوير بمجهود فني كبير لصناعة عدسات تخلو بقدر الإمكان من التشوهات التي تؤدي إلى أخطاء في الوضع الهندسي للصورة . من هذه التشوهات انحراف العدسة القطري radial lens distortion والذي يتسبب في انكسار الشعاع الضوئي حالة مروره من العدسة إلى الفيلم (الشكل رقم٢,٣) .



الشكل رقم (٢,٣). انحراف العدسة القطري.

ومن خصائص عدسات آلة التصوير الجوي أن لكل منها بعد بؤري هو عبارة عن بعد المركز الضوئي للعدسة من مستوى الفيلم الذي يسقط عليه الشعاع الشكل رقم(٢,٤) .

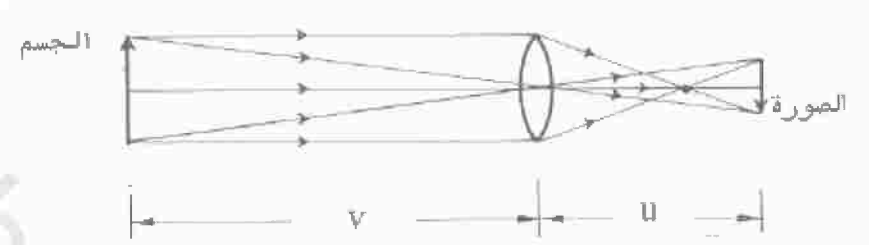


الشكل رقم (٢,٤). البعد البؤري للعدسة.

ويتراوح البعد البؤري لعدسات آلات التصوير من ٨٠ ملم (و تسمى العدسة ذات البعد البؤري القصير) إلى ١٥٠ ملم (و تسمى العدسة ذات البعد البؤري المتوسط) و أخيراً إلى ٣٠٥ ملم (و تسمى العدسة ذات البعد البؤري الطويل). وأياً كانت العدسة المختارة فلا بد لها من أن توافق معادلة العدسة المعروفة :

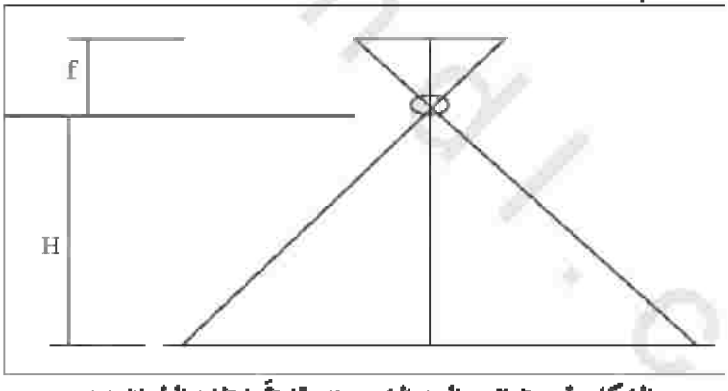
$$1/f = 1/u + 1/v$$

حيث إن f = البعد البؤري للعدسة ، u = بعد الصورة (مستوى الفيلم) من العدسة ، v = بعد الجسم من العدسة كما في الشكل رقم (٢,٥).



الشكل رقم (٢,٥). وضع كل من الصورة و الجسم بالنسبة للعدسة.

وفي حالة التصوير الجوي فإن بعد الجسم من العدسة يمثل ارتفاع الطيران فوق سطح الأرض (H) و يكون في الغالب بمئات الأمتار ، في حين أن بعد الصورة من العدسة (البعد البؤري f) هو في حدود حجم آلة التصوير ولا يزيد ذلك على عشرات السنتمترات . وعليه فإن بعد الجسم من العدسة يمكن أن يعوض عنه بمقدار لا نهائي (∞) بحيث يكون البعد البؤري لآلة التصوير (f) مساوياً للمسافة بين الصورة و العدسة (u) (الشكل رقم ٢,٦).



الشكل رقم (٢,٦). البعد البؤري (f) مقارنةً بارتفاع الطيران (H).

ب) الحاجب

(diaphrgms) وتتلخص وظيفة الحاجب في التحكم في كمية الأشعة الضوئية التي تمر من خلال العدسة ، ويتعرض لها الفيلم لتكوين الصورة ، وذلك بالتحكم في الفتحة التي تحدد قطر العدسة.

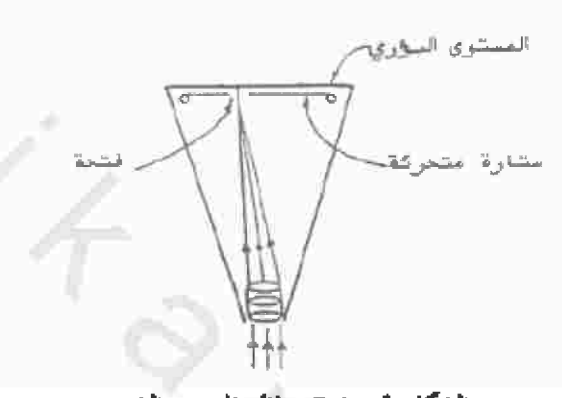
جـ) الغالق

(shutter) أما وظيفة الغالق فهي التحكم في الفترة الزمنية التي يسمح خلالها لحزمة الأشعة الضوئية بالمرور من خلال العدسة إلى الفيلم. ويطلق على هذه الفترة الزمنية فترة التقاط الصورة exposure time أو سرعة الغالق shutter speed . وتوجد تصميمات مختلفة للغالق ، منها: غالق ما بين العدسات between-the-lens-shutter وهو الأكثر استعمالاً في آلات التصوير الجوية القياسية و يوضع في ما بين أجزاء العدسة ، وتتراوح سرعته ما بين 100/1 إلى 1000/1 ثانية. (الشكل رقم ٢,٧).

الشكل رقم (٢,٧). غالق ما بين العدسات.

ولهذا الغالق بعض السلبيات والإيجابيات ، فمن السلبيات أنه ينبغي أن يكون لكل عدسة غالق خاص بها في حالة استخدام نظام تغيير العدسات ، و كذلك فإن سرعة هذا الغالق محدودة . أما من مميزات هذا الغالق: سهولة التركيب و سهولة الأداء ؛ نسبة لأن الأجزاء المتحركة قليلة وخفيفة وقلة التكلفة مقارنة بالأنواع الأخرى والأهم من ذلك كله هو أن الصورة الناتجة تكون أكثر واقعية وقليلة الأخطاء الهندسية. ويوجد أيضاً غالق المستوى البؤري focal plane shutter والذي يوضع على مقربة من المستوى البؤري . وهو عبارة عن ستارة بها فتحة طولية بعرض مستوى الفيلم تتحرك في اتجاه الطيران و عكسه لتسمح للأشعة بالمرور إلى الفيلم الشكل رقم (٢,٨) .

وبالرغم من أن سرعة هذا الغالق عالية جداً مقارنةً بالنوع السابق ذكره (تتراوح سرعته من 1/1000 – 1/10000) إلا أن الطريقة التي يعمل بها تؤدي إلى بعض الأخطاء الهندسية مما يجعل استعماله قاصراً فقط على آلات التصوير الجوية الاستطلاعية.



الشكل رقم (٢,٨). غالق المستوى البؤري.

د) المرشح

(filter) و يصنع المرشح من زجاج لا يؤثر على مسار الضوء حتى لا يتسبب في الأخطاء الهندسية غير المرغوب فيها . و للمرشح وظائف نذكر منها :

١ – المحافظة على العدسة وحمايتها من تأثير ذرات الفضاء.

٢– توزيع الأشعة الساقطة على الفيلم بحيث تكون كثافة الضوء متساوية على جميع أجزاء الفيلم إذ لو تركت لحالها لكانت الكثافة عالية قريب من المركز وقلت كلما ابتعدنا من المركز فتصبح الصورة غير واضحة عند الأطراف والأركان خاصة.

٣– تصفية الأشعة الساقطة على العدسة من الأشعة البنفسجية التي تؤدي إلى تشوه الصورة.

إضافة إلى هذه الأجزاء الرئيسة التي ذكرناها فإن آلة التصوير الجوية يتم تزويدها بأجهزة أخرى يطلق عليها الأجهزة المساعدة ، من أهمها :

أ) جهاز تثبيت آلة التصوير camera mount و الذي يساعد على تثبيت آلة التصوير في مكانها الصحيح حتى في حالات انحراف الطائرة أو ميلها أثناء التصوير.

ب) موجد المنظر view finder وهو عبارة عن آلة تصوير فرعية ذات طول بؤري ثابت . يستخدم في الحصول على منظر المنطقة التي يراد تصويرها مما يسهل تعيين محطات التصوير المتعاقبة.

ج) جهاز ضبط الوقت لالتقاط الصورة intervalometer وهو جهاز الكتروني تحدد بواسطته الفترة الزمنية بين كل لقطة و التي تليها فيتم فتح الغالق وإغلاقه بإشارة منه.

(٢,٣) تصنيف آلات التصوير الجوية حسب التركيب الهندسي:

(٢,٣,١) آلات التصوير ذات العدسة المفردة

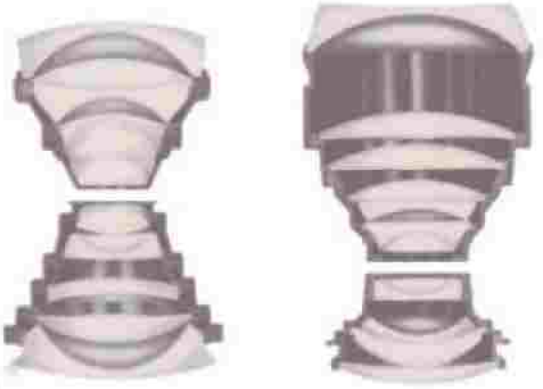
يستخدم هذا النوع من آلات التصوير عدسة واحدة مما يجعله لزاماً ألا يتم التقاط أكثر من صورة جوية واحدة في آن واحد. وهذا النوع هو الأكثر شيوعاً خاصة في مجال المساحة الجوية التصويرية القياسية التي تحتاج فيها إلى الدقة العالية لإنتاج الخرائط المساحية المختلفة سواء الطبوغرافية أو المخططات ذات المقياس الكبير أو إنشاء النموذج الرقمي لسطح الأرض .

ومن خصائص هذا النوع من آلات التصوير أن البعد البؤري يظل ثابتاً أثناء التقاط الصور . أما إذا أردنا استخدام بعد بؤري مختلف فيمكن تغيير العدسة بعدسة أخرى ذات بعد بؤري مختلف حيث يوجد مجال واسع من خيارات البعد البؤري يتراوح فيما بين 80 – 300 مم ، و البعد البؤري الأكثر استخداماً هو 150 مم . و يتحكم في

الاختيار ارتفاع الطيران و مقياس الصورة المطلوب . ومن أشهر آلات التصوير آلات التصوير الجوية صناعة شركة زايس Zeiss الألمانية و صناعة شركة لايكا Leica السويسرية ، ودائماً ما تسمى آلة التصوير بطول البعد البؤري للعدسة المستخدمة كما هو الحال بالنسبة لآلة التصوير RC-30 صناعة شركة لايكا (الشكل رقم ٢,٩).

الشكل رقم (٢,٩). آلة التصوير الجوية مفردة العدسة RC-30 [9].

ويمكن أن يكون لمثل هذا النوع مخروط بصري (ضوئي) Optical (lens) cone لعدسات ذات بعد بؤري متفاوت حتى يتم اختيار الأنسب لعملية التصوير المطلوبة ، ويوضح الشكل رقم(٢,١٠) المخروط الضوئي لعدسة ذات بعد بؤري 300 مم (أ) وأخرى 150 مم (ب) لآلة التصوير RC-30 المذكورة سابقاً.



(ب) (أ)

الشكل رقم (٢,١٠). المعروط الضوئي لآلة التصوير RC-30 [5].

(٢,٣,٢) آلات التصوير متعددة العدسات

أما هذا النوع من آلات التصوير فيحتوي على عدستين أو أكثر مما يسمح بالتقاط صورتين أو أكثر في آن واحد . ويستخدم هذا النوع غالباً في عملية تفسير الصور وذلك لإمكانية استخدام عدة أفلام تتحسس مجالات مختلفة من نطاقات الطيف الكهروماغنطيس وتساعد في عملية التفسير. ويوضح الشكل رقم(٢,١١) آلة تصوير متعددة العدسات (تسع عدسات).

الشكل رقم (٢,١١). آلة التصوير متعددة العدسات.

(٢,٤) تصنيف آلات التصوير الجوية حسب مجال الرؤية

بالإمكان تصنيف آلات التصوير الجوية و التي تتركب من العناصر التي تم شرحها في الفقرات السابقة تبعاً للبعد البؤري للعدسة أو لمدى مجال الرؤية field of view والذي يحدده الطول البؤري للعدسة وأبعاد إطار الفيلم format size . إن إطار الفيلم المستخدم في التصوير للقطة المفردة إما أن يكون مستطيل الشكل أو مربع الشكل وهو الأكثر استخداماً لعمليات المساحة التصويرية ويكون أبعاده 23 سم x 23سم .

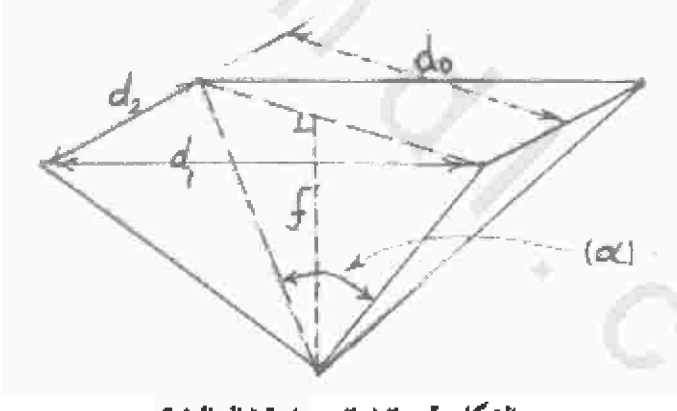
ويمكن أن نعبر عن مجال الرؤية بحساب الزاوية α (الشكل رقم ٢,١٢) والتي يمكن حسابها من العلاقة التالية :

$$\alpha = 2 \tan^{-1} (d_0 / 2 f)$$

حيث إن d_0 هو قطر الإطار الذي أبعاده d_1 و d_2

$$d_0 = (d_1^2 + d_2^2)^{1/2}$$

و f هي الطول البؤري للعدسة.



الشكل رقم (٢,١٢). زاوية مجال الرؤية.

وباعتبار أن إطار الفيلم الأكثر استخداماً هو الإطار المربع ذو الأبعاد 23 x 23سم و أن البعد البؤري المستخدم لعدسات آلات التصوير الجوي يتراوح ما بين 89 – 305 مم فإن آلات التصوير الجوي تصنف على النحو التالي :

البعد البؤري للعدسة (مم)	زاوية مجال الرؤية α	نوع آلة التصوير من حيث مجال الرؤية
89	75°	آلة تصوير عادية (normal)
152	100°	آلة تصوير عريضة (wide)
305	120°	آلة تصوير عريضة جدا (super-wide)

(٢,٥) التصنيف التقني لآلات التصوير الجوية

تقسم آلات التصوير من ناحية تقنية و إخراج الصورة إلى:

١- آلة التصوير الضوئي التقليدي التي يتم فيها طبع الصورة على الفيلم الذي تنعكس عليه الأشعة المنعكسة من الأجسام التي على سطح الأرض من خلال عدسة آلة التصوير. وهذا النوع تمثله آلة التصوير الضوئية التي سبق الحديث عنها في الفقرات السابقة و التي تنتج لنا الصور الجوية التي سنقوم بالقياس عليها في هذا البحث.

٢- آلة التصوير الرقمية و التي يتم فيها تحسس الأشعة المنعكسة من الأجسام على سطح الأرض و تسجيلها رقمياً ومن ثم معالجتها لاستخراج المعلومات المساحية المطلوبة منها . وبما أن هذا النوع من آلات التصوير تبرز أهميته عند دراسة المساحة التصويرية الرقمية فإننا هنا نكتفي فقط بتقديم مثالين له هما آلة التصوير DiMAC التي تظهر في الشكل رقم (٢,١٣). [10] و آلة التصوير Ultra Cam (الشكل رقم ٢,١٤). [11].

الشكل رقم (٢,١٣). آلة التصوير الرقمية DiMAC [10].

الشكل رقم (٢,١٤). وحدة استشعار آلة التصوير الرقمية Ultra Cam [11].

وتعمل كل منهما باستخدام جهاز الشحن الضوئي (CCD) ، وهو بلورة حساسة للضوء تتكون من مجموعة كبيرة من الخلايا الضوئية الصغيرة تقوم بدور الفيلم جزئياً: إذ تستقبل الأشعة المنعكسة من سطح الأرض و تحولها إلى نبضات كهربائية ثم إلى بيانات رقمية تشكل الصورة الرقمية التي تتم دراسات المساحة التصويرية الرقمية عليها. وللمزيد من التفاصيل يمكن الرجوع إلى المراجع [1]-[10] ,[11].

(٢,٦) العناصر الهندسية لآلة التصوير الجوية

تستوجب عمليات القياس الدقيق على الصور الجوية عمل معايرة لآلة التصوير يتم من خلالها الحصول على الخصائص الهندسية للآلة. ومن بين هذه الخصائص الهندسية المطلوب معرفتها بدقة عالية :

١ – الوضع الهندسي الدقيق لنقطة الأساس الضوئية للصورة.

٢ – البعد البؤري لعدسة آلة التصوير (f).

٣ – قيم الانحراف القطري للعدسة radial lens distortion.

٤ – دقة استواء الفيلم عند المستوى البؤري.

٥- زاوية تقاطع خطوط علامات الإسناد.

٦- المسافات بين علامات الإسناد المتقابلة.

ويتم التعيين الدقيق لهذه القيم (و تعرف أيضاً بالعناصر الداخلية لآلة التصوير) في المختبرات الخاصة بصناعة آلات التصوير ليزود بها كل من أراد استخدامها في عمليات القياس الدقيق . و للمزيد من المعلومات عن عملية المعايرة يمكن الرجوع إلى كتاب مبادئ المساحة التصويرية الجوية للمؤلف [12].

(٢,٧) تمارين

١- وضح مستعيناً بالرسم العناصر الرئيسة لآلة التصوير الجوية.

٢- اشرح طريقتين لضبط الفيلم مستوياً أثناء عملية التصوير.

٣- اذكر عناصر مخروط آلة التصوير.

٤- اذكر أهمية كل من العدسة و الغالق و الحاجب.

٥- اكتب العلاقة الهندسية بين بعد الفيلم من العدسة و بعد الجسم من العدسة .

٦- قارن بين غالق ما بين العدسات و غالق المستوى البؤري.

٧- احسب زاوية مجال الرؤيا لآلة تصوير أبعاد إطارها 23x64 و البعد البؤري للعدسة 300مم.

٨- اذكر ثلاثة من الخصائص الهندسية لآلة التصوير التي يتم تحديدها بدقة في عملية معايرة آلة التصوير.