محاضرات في
تحليل الصور الجوية

اعداد وتجميع

ا.م.د / زمزم مرعي احمد درويش

استاذ الجغرافيا البشرية ونظم المعلومات الجغرافية المساعد

كلية الآداب / جامعة جنوب الوادي

قنـــــــــــا

٢٠٢٢م.

فهرس المحتويات	
فهرس المحتويات	١
الفصل الأول	التطور التاريخي للصور الجوية ٢-٢٣
الفصل الثاني	تعريف بالصور الجوية وكاميراتها ومعالجة أفلامها ٢٤-٥٤
الفصل الثالث	أنواع الصور الجوية ومحتوياتها وخصائصها الهندسية ٥٥-٩١
الفصل الرابع	منتجات الصور الجوية. ٩٢-١٠٨
الفصل الخامس	أسس تفسير الصور الجوية ١٠٩-١٣٢
الفصل السادس	أجهزة قراءة الصور الجوية ١٣٣-١٥١

الفصل الأول : التطور التاريخي للصور الجوية.

مقدمة :

الصور الجوية إحدي الوسائل الهامة في تنفيذ عمليات الحصر المختلفة وإنتاج الخرائط، حيث تُعد من أسرع الطرق وأدقها أيضاً في حصر الموارد الطبيعية خاصةً في الدول النامية وقد أصبحت أغلب الخرائط المنتجة في هذه الدول مصدرها الصور الجوية حيث إستطاع التصوير الجوي التغلب علي العقبات التي تواجه المساحة الأرضية التقليدية مثل المناطق المضرسة الوعرة والمستنقعات والكثبان الرملية النائية.

ويعرف علم التصوير الجوي بالمساحة التصويرة Photogramerty الذي يهتم بالقياس وتحديد المواقع وإنشاء الخرائط الطبوغرافية من الصور الجوية.

وفيما يلي دراسة التطور التاريخي للصور الجوية :

المرحلة الأولى: اختراع كاميرا التصوير.

١. الكاميرا المُظلمة: Camera Obscure.

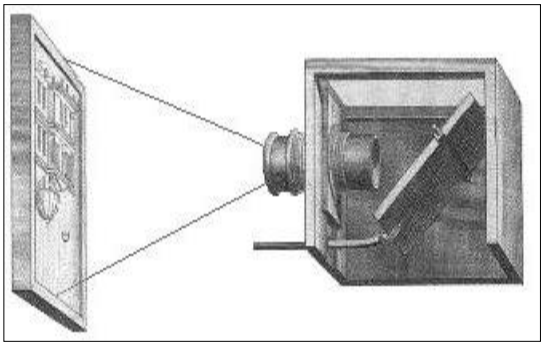
يعود أول ذكر للكاميرا المظلمة إلى الفيلسوف الصينى مو- تى Mo-Ti فى القرن الخامس قبل الميلاد ، حيث أشار إلى إمكانية الحصول على صورة معكوسة لأى ظاهرة من خلال مرور الأشعة الضوئية عبر ثقب صغير إلى حجرة مظلمة تسمى بمكان التجميع collection place. كما أهتم العالم الإسلامى الحسن بن الهيثم (٩٦٥-١٠٣٩ م) (شكل ٢-١) بمبادئ علم البصريات وأجرى عدة تجارب مشابهة للكاميرا المظلمة باستخدام خمسة

فوانيس ضوئية موضوعة خارج حجرة بها ثقب صغير لينفذ الضوء من خلاله. وقد أطلق ابن الهيثم على هذه الحجرة اسم "قُمرة" وذلك فى كتابه "المناظر" ، ويعتقد البعض أن قُمرة هى المصدر الذى أُشتق منه كلمة كاميرا الإنجليزية. غير أن مصطلح الكاميرا المظلمة Camera Obscure كان قد استخدمه فى بادئ الأمر عالم الفلك الألمانى يوهانس كيبلر Johannes Kepler وذلك فى بداية القرن السابع عشر ، حين استخدم خيمة متنقلة بديلاً عن الحجرة المظلمة وذلك أثناء إجراؤه عمليات مسح أرضى فى أعالى النمسا. ويوضح شكل (٢-٢) شكلا مبسطا لأحد الكاميرات المظلمة التى كان يستخدمها الرسامون قديما. وتتكون هذه الكاميرا من عدسة مثبتة داخل صندوق بحيث يتم تسليط هذه العدسة على الشخص المراد رسمه ، فتنتقل هيئته من خلال العدسة بواسطة الضوء الذى يمر إلى داخل الصندوق عبر فتحة العدسة ، ويتم استقبال الصورة داخل الصندوق على مرآة ومن ثم يتمكن الرسام من رسم ملامح الشخص المراد تصويره. ولعل المشكلة الرئيسية فى هذه الطريقة الأولية هى كيفية تثبيت أو تسجيل الصورة مباشرة وحفظها على المرآة الداخلية.

٢. الكاميرا المضيئة Camera Lucida.

صمم الفيزيائى الإنجليزى ويليام والستون William Wollaston فى عام ١٨٠٧ ما يُعرف بالكاميرا المضيئة Camera Lucid وكانت تستخدم كوسيلة مساعدة فى الرسم مباشرة دون الحاجة لوجود الحجرة المظلمة ، حيث تعتمد على استخدام منشوراً زجاجياً مثبت داخل عدسة ، بالإضافة إلى ورق مثبت أسفل العدسة. وكان على الرسام أن ينظر من خلال العدسة فيرى

الشخص المراد رسمه والورق الذى يقوم بالرسم عليه فى ذات الوقت (شكل ٢-٣). غير أن هذه الطريقة التصويرية كانت تعتمد بشكل رئيسى على مهارة الرسام وموهبته الفنية فى نقل أو رسم الأشياء. وتُعد هذه الكاميرا فى الواقع ليست أكثر من تطوير للكاميرا المظلمة التى استخدمها كيبلر منذ ٢٠٠ عاماً تقريباً قبل والستون.



شكل ٢-٢: الكاميرا المظلمة.

شكل ٢-٣: الكاميرا المضيئة.

٣. الصور الشمسية (هيليوجراف) واستخدام المواد الحساسة للضوء Heliograph.

بحلول عام ١٨٢٦ استطاع الفرنسى جوزيف نيبيس Joeseph Nicephore Niepce التقاط أول صورة طبيعية من شرفته فى لاجراس

Le Gras فى قرية سانت لوب دى فارينا Saint Loup de Varenne بفرنسا. وقد تضمنت الصورة كل من المبانى والزراعة وكذلك جوانب النافذة التى قام بالتقاط الصوة منها .

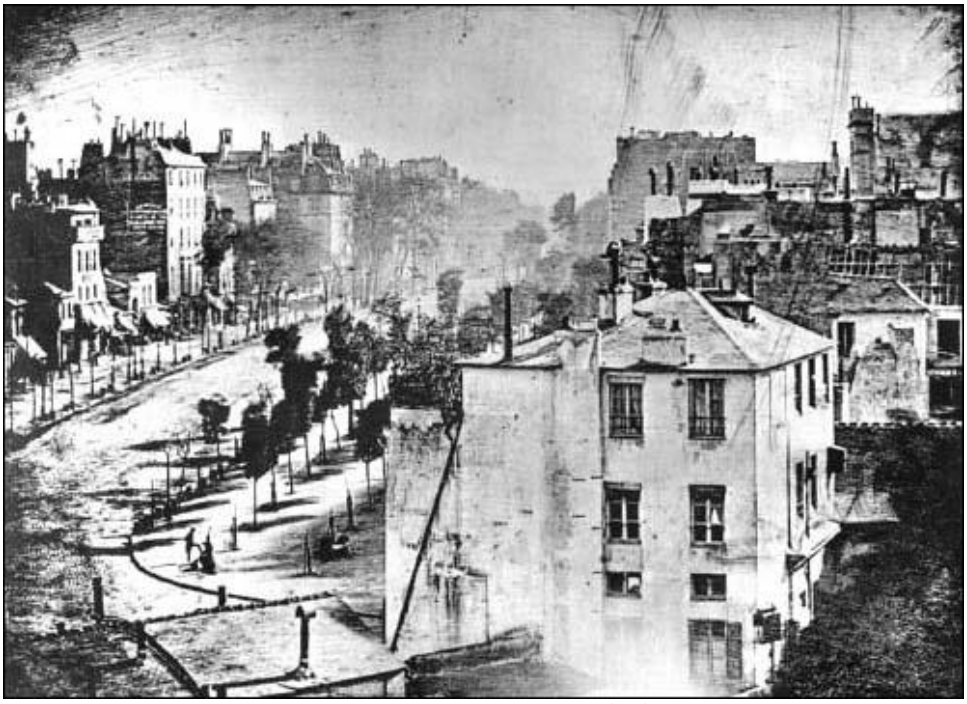
٤. الصورة الشمسية المُصغرة Sun-drawing miniature.

كان لويس داجويرا Louis Daguerre مصمم المناظر المسرحية وعروض الأوبرا فى باريس قد شرع فى عام ١٨٣٣ فى إجراء تجارب عديدة على عملية التصوير باستخدام المواد الحساسة للضوء ومثبتات الصور ، إلى أن استطاع فى ٧ يناير ١٨٣٩ أن يقدم للأكاديمية الفرنسية للعلوم ما يسمى بطريقة داجويرا التصويرية Daguerreotype process، والتى يمكن تلخيصها على النحو التالى:

- بدايةً يتم تجهيز لوح التصوير بتثبيت سطح مصقول بالفضة على شريط من النحاس.
- تعريض اللوح للبخار الناتج عن بللورات اليود iodine crystal وذلك يتم داخل صندوق مغلق بحيث يصبح الشريط قابل للتأثر بشدة الضوء ، حيث يتفاعل البخار مع طبقة الفضة التى تغطى الشريط وينتج عن هذا التفاعل مركب يود الفضة silver-iodide شديد الحساسية والتأثر بالضوء.
- يتم وضع اللوح داخل كاميرا مظلمة وتعريضه للضوء لدقائق معدودة يكون خلالها الشكل المراد تصويره ثابتاً دون حركة ، خلال تلك الدقائق يكون قد تم تكوين الصورة الكامنة latent image كيميائياً ، غير أنها لازالت غير واضحة بعد للعين المجردة.

- يتم بعد ذلك وضع اللوح الحامل للصورة الكامنة فى صندوق به زئبق ساخن عند قاعدته ، فإذا كان اللوح قد تأثر بعدد كبير من فوتونات الضوء فإن البخار الناتج عن الزئبق الساخن يؤدى إلى تكوين طبقة رقيقة تعرف بالـ frosty amalgam وهى الطبقة المسئولة عن ظهور المناطق الفاتحة اللون فى الصورة.
- ثم يوضع اللوح بعدها فى حمام ملح (كلوريد الصوديوم) بحيث يوقف نشاط يود الفضة غير المعرض للضوء حتى لا يتأثر بأى ضوء إضافى أو جديد قبل ظهور الصورة. ثم يُغسل بعد ذلك اللوح بالماء ويجفف لنحصل فى النهاية على الصورة الفوتوغرافية.

وقد عُرفت طريقة تصوير داجويرا هذه بالصور الشمسية المصغرة Sun-drawing miniature حيث لم يكن مصطلح فوتوغراف photograph قد ظهر بعد. وسجل داجويرا براءة اختراعه بالأكاديمية الفرنسية للعلوم ، ثم دخل فى شراكة تجارية مع ايسدورا نييبس Isidore Niepce وهو ابن نييبس مخترع صور الهيليوجراف.



شكل ٢-٥: كاميرا داجويرا.

شكل ٢-٦: أحد صور داجويرا لشارع بدى خالياً من المارة حيث أن طول فترة تعرض لوح التصوير للضوء كانت لا تسمح بتصوير الأهداف المتحركة.

٥. الصورة الجميلة (كالوتايب) Calotype.

كانت صور داجويرا نقلة كبيرة فى عالم التصوير حيث كانت تصور تفاصيل دقيقة ، إلا أن أهم المشكلات التى واجهت هذه الطريقة كانت تنحصر فى التسمم الزئبقى كما ذكرنا من ناحية ، وكيفية إعادة طبع الصورة الواحدة عدة مرات من ناحية أخرى. إذ لم تكن هذه الطريقة تسمح بإمكانية

إعادة طبع الصورة إلا إذا تم تصوير الشخص مرة ثانية. لذا كانت هناك حاجة ملحة إلى إيجاد طريقة أخرى يمكن من خلالها إنتاج أكثر من صورة من اللوح الواحد ، ومن ثم اكتشف الإنجليزى ويليام تالبوت William Talbot (١٨٠٠-١٨٧٧) عضو الجمعية الملكية البريطانية إمكانية استخدام ورق شفاف transparent مشمع waxed مغطى بطبقة من كلوريد الفضة ومقوى بنترات الفضة والأحماض العضوية gallic acid فى إنتاج صور موجبة. وقد عُرفت هذه الطريقة بالصور الجميلة (كالوتايب) Calotype. ورغم أن صور الكالوتايب لم تكن على نفس الدرجة من الوضوح مثل صور داجويرا إلا أنها تميزت بالقدرة على إمكانية إنتاج أكبر عدد ممكن من الصورة الواحدة باستخدام لوح تصوير واحد. ويمكننا أن نقول أن هذه هى البداية الحقيقية لظهور أفلام التصوير أو النيجاتيف.

٦. التصوير الملون.

منذ ألآف السنين عرف المشتغلين بعلم الفلك من الهنود أن ضوء الشمس يتكون من حزم من الألوان المختلفة ، بينما كان أرسطو يعتقد بأن الضوء إنما يتكون فقط من مزيج من اللونين الأبيض والأسود. وقد ظل هذا الإعتقاد الأروسطى للأسف سائداً حتى القرن السابع عشر الميلادى حتى أن ليوناردو دافنشى نفسه لم يتدارك هذا الخطأ. وقد ظل الحال هكذا إلى أن جاء العبقرى إسحاق نيوتن Isaac Newton ليوضح فى كتابه الذى وضعه فى عام ١٦٧٢ تحت عنوان "نظرية جديدة عن الضوء والألوان" " New Theory about light and colours" التصورات والحقائق الجديدة حول الضوء والألوان. لقد اكتشف نيوتن أنه يمكن فصل الضوء الأبيض بواسطة منشور

زجاجى إلى سبعة ألوان طيفية هى الأحمر ، البرتقالى ، الأصفر ، الأخضر ، الأزرق ، النيلى ، والبنفسجى. كما اكتشف أنه يمكن باستخدام منشور زجاجى أخر أن يجمع هذه الحزم من الألوان السبعة مرة أخرى مع بعضها لينتج عنها اللون الأبيض. ويُعد كتاب نيوتن المذكور سلفاً أول الأعمال العلمية التى عالجت طبيعة الضوء الطيفية والتى يستند عليها علم البصريات الحديث.

وكما رأينا فقد كان اختراع كاميرا التصوير الفوتوغرافى قد بلغ مرحلة متقدمة للغاية ، ظهرت ثمارها بإنتاج صوراً باللونين الأبيض والأسود. لقد كانت كل هذه الظروف إلى جانب الأعمال العلمية لنيوتن إيذاناً بالتفكير فى إمكانية الحصول على صور ملونة ، ومن ثم قدم الاسكتلندى جيمس ماكسويل James Clerck Maxwell اقتراحاً أثناء الأعمال التحضرية للجمعية الملكية البريطانية عام ١٨٥٥ حول إمكانية تلوين ظاهرات الصور الفوتوغرافية بناءاً على نظرية رؤية الضوء light vision theory ، ويمكن تلخيص أهم مقترحاته فيما يلى:

- إن نظرية الألوان يمكن تفسيرها فى ضوء فن التصوير وذلك بإظهار ألوان ظاهرات سطح الأرض (لاند سكيب) من خلال صور تأخذ من الأشعة الضوئية لكل لون.
- وضع لوح أحمر قبل الكاميرا ويتم أخذ لقطة أو صورة ، فيتكون بذلك صورة شفافة فى حالة توافر اللون الاحمر بكثرة فى مظاهر السطح ، بينما تكون الصورة معتمة أو داكنة إذا ما كانت مظاهر سطح الأرض تفتقر إلى

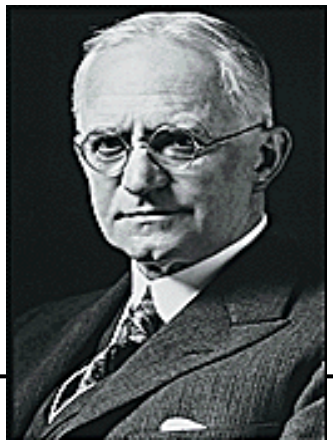
اللون الأحمر. عند وضع الصورة الناتجة فى جهاز مثل البروجيكتور مثلا فإن الصورة سوف تظهر حمراء.

- عند تكرار التجربة السابقة باستخدام زجاج أخضر وأخر بنفسجى اللون ، وعرض الصور الثلاثة متراكبة فوق بعضها البعض على البروجيكتور الضوئى فإنه يتكون لدينا صورة مركبة الألوان ، يتوقف لون كل نقطة فى هذه الصورة على لونها فى الطبيعة.

وقد استطاع ماكسويل فى ١٧ مايو ١٨٦١وبمساعدة المصور توماس سوتون Sutton إثبات فرضيته الخاصة بتجميع الألوان وذلك بتصوير شريط متعدد الألوان أربعة مرات متتالية باستخدام فيلم أبيض وأسود ، مستعملاً فى ذلك مرشحات لونية filters هى الأحمر (باستخدام سياني الحديد) والأخضر(باستخدام كلوريدالنحاس) والأزرق (باستخدام سلفات النحاس) والأصفر (باستخدام زجاج بلون الليمون). ثم أسقط ضوءاً من خلال هذه المرشحات وكذلك من خلال الصورة الأبيض والأسود ، لبحصل فى النهاية على صورة جديدة ملونة. وقد وجد ماكسويل أن استعمال مرشح اللون الأصفر غير ضروري.

٨. نظام التصوير الجاهز.

حتى ذلك الوقت كان باستطاعة العامة شراء كاميرات التصوير وتدأولها وكذلك أفلام التصوير ، لكن كان عليهم أن يتعلموا كيفية استخدام هذه التقنية وطباعة أو تحميض الأفلام ، إلى أن أحدث إيستمان George



شكل ٢-٩: جورج إيستمان.

Eastman -مؤسس شركة كوداك- ثورة فى عالم التصوير الفوتوغرافى عام ١٨٨٨ (شكل ٢-٩). اعتمد إيستمان على أفكار ويرنيرك فى استخدام طبقة من الجيلاتين تحتوى على أملاح الفضة الحساسة للضوء ، ثم غطى هذه المواد بورق وأنتجها فى شكل أفلام ملفوفة roll films يسهل تبادلها ، وهو الأمر الذى ساعد على سهولة استخدام الصور الفوتوغرافية وتطويرها على نحو أسرع مما سبق.

المرحلة الثانية: اختراع وسائل الطيران والبدايات الأولى للتصوير الجوى.

حأول الكثير من البشر الطيران والتحليق فى السماء كالطيور ، وحدثتنا أغلب الأساطير الأولى عن أناس لديهم قدرة خارقة على الطيران منها على سبيل المثال الأسطورة اليونانية المعروفة ديدالوس Daedalous الذى قام بصنع أجنحة شراعية من الريش والشمع له ولأبنه إيكاروس Ikarus للهروب من السجن ، وحدثتنا الأسطورة عن وصول إيكاروس الأبن على مقربة من الشمس ومن ثم ذابت الأجنحة وسقط الأبن قتيلاً على الأرض (شكل ٢-١٠). لقد ظل الطيران حلماً يراود البشرية قروناً طويلة إلى أن نجحت المحأولات الأولى فى التغلب على قوى الجاذبية الأرضية. ويمكن بوجه عام تلخيص أهم ملامح هذه المرحلة على النحو التالى:

١. مرحلة الأجنحة الخفاقة (الاورنيثوبتيرس) Ornithopters.

من الطبيعى أن تعتمد المحأولات الأولى للطيران على استخدام أجنحة مشابهة للطيور ، يتم تثبيتها فى جسم الإنسان ويتم تحريكها باليد أثناء الطيران والتى تُعرف بالاورنيثوبتيرس. وكان على الشخص الذى يرغب فى

الطيران أن يثبت هذه الأجنحة فى ذراعيه ثم يقوم بالقفز من مكان عال ، ولذ فإن كل هذه التجارب قد انتهت بحوادث مؤسفة. ففى عام ٨٥٠ قبل الميلاد أرتقى الملك بلادود Bladud لأعالى معبد أبوللو فى انجلترا ثم قفز فى الهواء مستخدماً أجنحة بدائية ليسقط قتيلاً على أرضية المعبد. كما شهد القرن الرابع قبل الميلاد (٤٠٠-٣٥٠ ق.م) اختراع أول طائرة خشبية صغيرة تشبه الحمامة فى اليونان. ثم تأتى محأولة العرب والمسلمين الأولى من الأندلس (اسبانيا حالياً) فى عام ٨٥٢ م على يد عباس أبو القاسم بن فرناس (عباس بن فرناس). ولد ابن فرناس فى إذن-راند اوندا Izn-Rand Onda المعروفة حالياً بروندا Ronda فى اسبانيا عام ٨١٠ ميلادية وتوفى فى قرطبة عام ٨٨٧م عن عمر يناهز ٧٧ عاماً. كان أبن فرناس مُلماً بعدد من العلوم والفنون ، فقد كان كيميائياً وفيزيقياً وفلكياً وشاعراًَ ومخترعاً. فقد قدم للبشرية اختراعات واكتشافات جليلة منها الساعة المائية التى أطلق عليها الميقاتة ، كما ابتكر طريقة لصناعة الزجاج الشفاف وطريقة أخرى لمتابعة حركة الكواكب والنجوم فى الفضاء. وفى عام ٨٥٢ أقدم أبن فرناس على الطيران بواسطة أجنحة من الريش تغطى ذراعيه وجسده كالعباءة ، وقام بالقفز من أعلى مأذنة مسجد قرطبة والمعرفة حالياً بمأذنة المسجد الكبير فى أسبانيا. وسقط أبن فرناس على الأرض وتعرض لعدد من الكدمات والجروح. ثم فكر بعد ذلك فى استخدام وسيلة أخرى للطيران بدلاً من الأجنحة ، ومن ثم إخترع أول طائرة شراعية بدائية glider ، واستقلها ثم قفز بها من أعلى قمة جبل العروس Mount of the Bride بالقرب من قرطبة ، ونجحت بالفعل تجربته فى بداية الأمر إلى أن سقطت به الطائرة وتحطمت وأُصيب بجروح فى ظهره. لكن هذه التجربة كانت بداية التفكير

العلمى فى الطيران ، إذ بدأ أبن فرناس فى عمل مقارنة بين طائرته وبين الطيور ، ومن ثم فكر فى استخدام ذيل للطائرة وضرورة إيجاد طريقة سهلة للهبوط بسهولة ويسر.

٢. مرحلة البالونات Balloons.

يعود اختراع البالون ذو الهواء الساخن إلى عام ١٧٨٣ على يد كل من جوزيف وأتينيا مونتجولفاير Goseph and Etienne Montgolfire فى فرنسا ، حيث قاما بحرق القش والصوف للحصول على هواء ساخن قليل الكثافة يعمل على دفع البالون لأعلى بعيداً عن سطح الأرض. وقد قاما بإجراء تجربة ناجحة بحمل عدد من الحيوانات داخل بالون. أما أول محأولة بشرية للطيران بواسطة البالون فقد جاءت عن طريق كل من روزير ودا ارنولد Rozier and d' Arlandes عندما حلقا بالبالون فوق مدينة باريس ومنذ ذلك الحين أُطلق عليهم اسم الملاحيين الجويين aeronauts.

وقد التقطت أقدم صورة جوية بواسطة البالون عن طريق المصور والملاح الجوى الفرنسى فيليكس تورناشو Gaspard Felix Tournachon والمعروف باسم نادر Nadar. ففى ٢٣ أكتوبر ١٨٥٨ سجل تورناشو شهادة ميلاد علم المساحة الجوية aerial photogrammetry or survying ، وهو العلم الذى يهتم بإنشاء خرائط عن سطح الأرض بواسطة الصور الجوية المتداخلة فيما بينها.

بعد عاميين تقريباً من محأولات نادر وتحديداً فى ١٣ أكتوبر ١٨٦٠ استطاع كل من جيمس بلاك وصموئيل كينج J. W. Black and Samuel A.

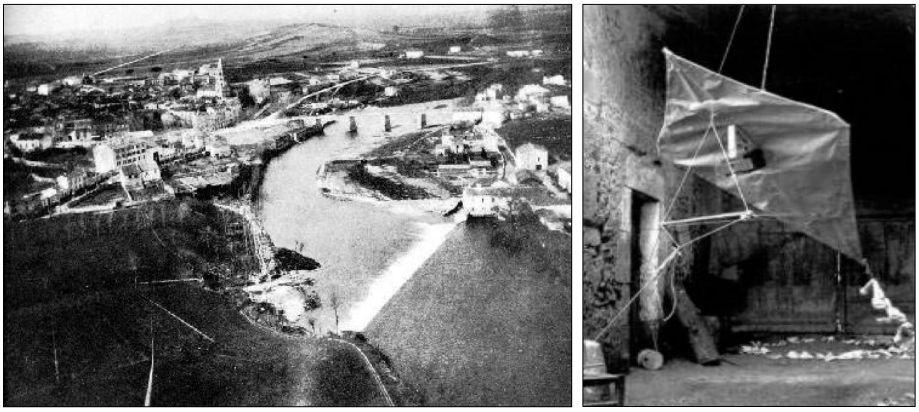
King التقاط صور جوية من بالون "ملكة الجو Queen of the air " لوسط مدينة بوسطن الأمريكية (شكل٢-١٤) مستخدمين فى ذلك لوح الكولوديون الرطب.

لقد أصبح استخدام البالون أمراً يسيراً فى ذلك الوقت وشائعاً ، وكذلك شاع التقاط صور جوية منه أفادت فى كثير من الاستخدامات العسكرية فى تلك الفترة. ففى أثناء الحرب الأهلية الأمريكية استخدم الجنرال ماك كيلان البالون لمراقبة تحركات الجيش الكونفدرالى وتحديد أماكن تركزه. كما استخدمه كذلك فى يونيه عام ١٨٦٢ فى رسم خرائط عن دفاعات ريتش موند وفرجينيا.

وتجدر الإشارة إلى أن ظهور ألواح التصوير الجافة كان عاملاً مساعداً للتوسع فى التصوير الجوى بواسطة البالونات ، حيث لم يكن هناك حاجة لوجود معمل لتحليل اللوح الرطب ، كما أن جودة الصورة باستخدام اللوح الجاف كانت أعلى بكثير عن تلك الألواح الرطبة. الأمر الذى أدى إلى انتشار التصوير الجوى على نطاق واسع حتى أصدر تساندير Gaston Tissandir أول كتيب عن الصور الجوية المُلتقطة بواسطة البالون تحت عنوان "La Photographie Balloon". ولا زال حتى اليوم بعض الباحثين والجهات العلمية تستخدم البالونات فى عمليات التصوير الجوى ولكن على نطاق ضيق.

٣. الطائرات الورقية Kites.

لما كانت عمليات التصوير الجوى بواسطة البالونات يحفها الكثير من المخاطر ، بدى الإهتمام واضحاً نحو استخدام وسائل أخرى فى عمليات التصوير الجوى. وكان عالم المناخ الإنجليزى أرشى-بالد Archibald أول من استخدم الطائرات الورقية فى التصوير الجوى فى عام ١٨٨٢. ومن ثم اتجه آرثر باتوت Arthur Batut إلى استخدام الطائرات الورقية فى نهاية ثمانينات القرن قبل الماضى ، وأصدر مؤلفاً بعنوان "التصوير الجوى بواسطة الطائرات الورقية" " La photographie Aerienne par Cerf-volant". وقد أوضح فيه كيفية استخدام الطائرات الورقية فى عملية التصوير الجوى واستكشاف سطح الأرض ، وكذلك دور هذه الصور فى الدراسات الأركيولوجية والعسكرية والزراعية وغيرها (شكل ٢- ١٦).



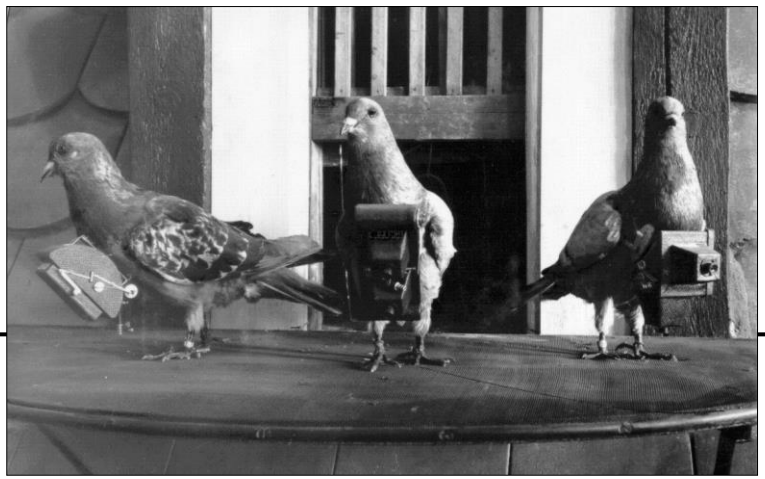
شكل ٢-١٦: إحدى الطائرات الورقية مثبت بها كاميرا عند المنتصف (يميناً) ، وأول صورة التقطها باتوت لمنطقة لابروجويرا Labruguiere بفرنسا يساراً.

٤. الصواريخ Rockets.

أفصحت مجلة الطبيعة La Nature الفرنسية فى عام ١٨٨٢ عن صاروخ التصوير Photorocket الذى إخترعه أمادى دينيس Amadee Denisse. وفى عام ١٨٩١ سجل الألمانى لودفج رارمان Ludwig Rahrmann براءة اختراع نظام تصوير يُحمل إلى الجو بواسطة الصواريخ ، حيث تقوم الكاميرا خلال رحلتها للجو بالتقاط صوراً لسطح الأرض ثم تعود إلى الأرض بواسطة مظلة هبوط جوية (باراشوت). وبحلول عام ١٩٠٣ حصل الإنجليزى ألفريد مأول Alfred Maul كذلك على براءة اختراع كاميرا الصواريخ والتى قد تم نشر بعض من صورها فى جريدة لندن الإخبارية Illustrated London News فى ٧ ديسمبر ,١٩١٢

٥. الحمام Pigeons.

قام يوليوس نيوبرونير Julius Neubronner فى ١٩٠٣ بإجراء تجربة تعتمد على تثبيت كاميرا على صدر عدد من الحمام (شكل ٢-١٨) ، حيث تطير الحمامة بإتجاه الهدف المراد تصويره ، وتقوم الكاميرا فى ذات الوقت بالتقاط صوراً متتابعة توضح مسار الطيران وذلك بسرعة تصل نحو ٣٠ ثانية بين كل صورة وأخرى. لكن هذه الطريقة لم تكن مفيدة على أية حال ، ويمكن أن يكتشف القارئ



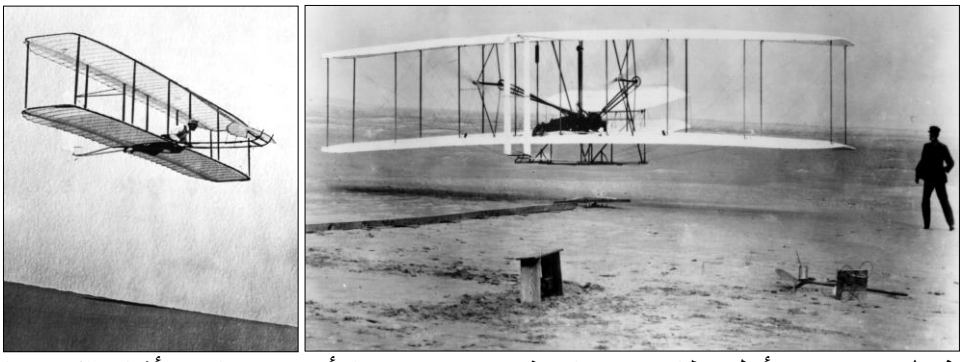
ذلك بنفسه من شكل ٢-١٩.

شكل ٢-١٨: تثبيت الكاميرات فوق صدور الحمام لاستخدامها فى التصوير.

٥. الطائرات الشراعية Gliders.

قام كل من كاى-لى Cayley وسترينج-فيللو Stringfellow بتطوير المحركات الهوائية ونظام التحكم الآلى فى الطائرات الشراعية. وكان مساعد كاى لى هو أول من امتطى طائرة شراعية وطار بها عام ١٨٥٣. وبحلول عام ١٨٩١ كان الألمانى أوتو ليلييننتالOtto Lilienthal قد تمكن من بناء نحو ٢٠٠٠ طائرة شراعية ، كان يحلق بها على ارتفاع يصل أكثر من ١٠٠٠ قدم ، لكنه مات فى حادثة طيران عام ١٨٩٦. استطاع فيما بعد الأمريكى شانوت Chanute أن يطور طرق التحكم الآلى بناءاً على النماذج التى تركها ليلييننتال ، كما عمل شانيوت فيما بعد مساعداً للأخوين أورفيللا وويلبور رايت Orville and Wilbur Wright الأمريكيين ،

وقد اعتمد الأخوين رايت على النماذج التى أعدها كل من ليلييتال وشانوت فى بداية الأمر ، إلى أن أعدا نموذجا خاصا بهما عام ١٩٥٥ (شكل ٢-٢١)



شكل ٢-٢١: أول طائرة شراعية من تصميم الأخوين رايت أثناء إقلاعها بقيادة ويلبر رايت فى منطقة كيتى هاوك شمال كارولينا.

٦. الطائرات Aircrafts.

صمم الأخوان رايت فى عام ١٩٠٣ أول طائرة ذات محرك بقوة ١٢ حصان ، وكان ويلبر رايت أول من استخدمها فى الطيران فى ١٢ ديسمبر ١٩٠٣ لكنه سقط وتحطمت الطائرة دون أن يصاب بأذى. وفى ١٧ ديسمبر ١٩٠٣ استطاع أورفيللا رايت التحليق بالطائرة فى الجو لمدة ١٢ ثانية لارتفاع ١٢٠ قدم ، وفى نفس اليوم قاما الأخوان بتكرار التجربة عدة مرات بنجاح ، ويُعد هذا التاريخ البداية الفعلية لعصر الطائرات.

كانت طائرة الأخوين رايت يتم التحكم فيها بواسطة الطيار وذلك بدوران جسم الطائرة من أحد جوانبها بإتجاه الجانب الأخر مما يعمل على تحريك دفة الطائرة ودوران الأجنحة. كما كان الطيار فى ذات الوقت يتحكم فى ارتفاع وهبوط الطائرة بيده اليسرى ، بينما كانت يده اليمنى ممسكة بجسم

الطائرة ، ومن ثم فقد كان طبيعياً ألا يتم التقاط أى صور جوية خلال تللك التجارب.

وبحلول عام ١٩٠٧ استطاع الأخوان رايت تصميم أول طائرة تسمح للطيار والمسافرين بالجلوس فيها. ثم فى عام ١٩٠٨ قاما بالتقاط أول صورة جوية عندما رافق المصور الفوتوغرافى بونفيلان Bonvillain ويلبر رايت أثناء طيرانه فوق معسكر دى أوفور Camp d'Auvours بفرنسا ، حيث قاما بالتقاط عدة صور متحركة رغم أنه لم تكن أفلام الصور المتحركة قد ظهرت بعد (شكل ٢-٢٢). وقد نُشر جزء كبير من هذه الصور عام ١٩٠٨ فى أحد

المجلات الفرنسية.

شكل ٢-٢٢: أحد طائرات التجسس من طراز Curtiss AH-13 تحمل طياراً ومصوراً.

المرحلة الثالثة: الاستطلاع الجوى خلال الحربيين العالميتيين الأولى والثانية.

بمجرد نجاح تجارب الأخوين رايت بدأت العديد من شركات الطيران الأمريكية فى الظهور فى الفترة من ١٩٠٧-١٩٣٠ ، منها عدد من الشركات التى لازالت تعمل حتى الوقت الراهن مثل كورتيس رايت (Wright Brothers, 1909) وبوينج (William Boeing, 1916) ، إلى جانب عدد أخر من الشركات التى ظهرت فى الدول الأوروبية مثل فرنسا وألمانيا وبريطانيا. وكانت كلها تعمل فى مجال التصوير الجوى بهدف الاستطلاع

Photo-Reconnaissance العسكرى خلال الحربيين العالميتيين الأول والثانية. ويمكن تلخيص أهم ملامح تلك المرحلة على النحو التالى:

١. الصور الجوية خلال الحرب العالمية الأولى.

خلال الحرب العالمية الأولى كان الطيار عليه أن يوجه الكاميرا بعيداً عن جانب الطائرة ويلتقط صورة ، ثم يقوم بتغير لوح التصوير قبل أن يبدأ فى التقاط صورة أخرى ثانية وهكذا. وكانت الكاميرا مثبتة على أحد جوانب الطائرة مما جعل من التصوير الجوى عملية شاقة للغاية فى تلك الفترة.

وخلال البدايات الأولى من الحرب لم تكن الصور الجوية قد استخدمت على نطاق واسع فى عمليات الاستطلاع الجوى ، إذ كانت الخرائط المرسومة تعتمد أساساً على ما قام الطياريون بتصويره بأنفسهم دون توجيهات صريحة لهم بالقيام بذلك. إلا أن تلك الصور أوضحت للجميع أهمية استخدام تلك التقنية الجديدة آنذاك فى عمليات الاستكشاف فيما بعد. ومن ثم فقد صدرت أوامر بتوفير كادر من المتدربين على التقاط الصور الجوية لما لها من أهمية قصوى فى إدارة الحرب وتغير التكتيكات العسكرية أثناء سير المعركة. ومن ثم استخدمت الصور الجوية لوضع الخطط العسكرية فى المناطق الوعرة وتحديد الطرق المدمرة والحواجز ونقاط الدفاع ودراسة تحركات القوات والمؤن والذخيرة وغيرها. فمثلاً فى ٢٢ أغسطس ١٩١٤ أوضحت صور الاستطلاع الجوى التى إلتقطها الطائرات البريطانية وجود تغيرات كبيرة فى مواقع الجيش الألمانى أثناء تقدمهم نحو باريس. وقد ساعدت هذه المعلومات الحلفاء فى وقف الزحف الألمانى نحو العاصمة الفرنسية عند نهر مارنيه Marne River. ولما كانت خطط الدفاع الرئيسية تعتمد فى الحرب

العالمية الأولى على حفر الخنادق ، فقد كانت الصور الجوية ذات فائدة كبيرة فى تحديد هذه الخنادق والكشف عنها. وقد تم خلال تلك المرحلة استخدام الإستريوسكوب أو جهاز الرؤية المجسمة بهدف رسم خرائط دقيقة توضح مواقع الخنادق وما تحتويه من عتاد عسكرى (شكل ٢-٢٣)

وبحلول عام ١٩١٨ كانت وحدة الجو الفرنسة قد أنتجت ما يقرب من ١٠,٠٠٠ صورة جوية أثناء الليل فقط. كما أنتجت نحو ٥٦ ألف صورة أخرى أثناء هجوم ميوزا – أرجونيه Meuse – Argonne وقامت بتسليم هذه الصور لقوات الاستطلاع الأمريكية. وبعد نهاية الحرب أقر إدوارد ستايشن Edward Steichen (المصور الفوتوغرافى والرسام الأمريكى والمشرف على قسم التصوير لقوات الاستكشاف الأمريكية أثناء الحرب) بأهمية المعلومات التى قدمتها الصور الجوية للحلفاء أثناء الحرب.

شكل ٢-٢٤: جهاز إنترفالومتر.

٢. الصور الجوية خلال الفترة الإنتقالية بين الحربيين.

كان التصوير الجوى قرب نهاية الحرب العالمية الأولى قد مر بمرحلة متقدمة تتعلق بطرق جمع الصور وتفسيرها ، غير أن الصور الجوية

كان يغلب عليها التشويه الهندسى ، إلى جانب التشوه الناتج عن الفارق الزمنى فى سرعة فتح حاجز العدسة [١]Shutter وسرعة الطائرة أثناء التصوير. ومع قرب نهاية الحرب قام شيرمان فيرتشايلد .Sherman M Fairchild بتصميم كاميرا جديدة وضع فيها حاجز للكاميرا داخل عدسات التصوير للتغلب على هذه المشكلة. كما قام بتصميم جهاز إنترفالومتر Intervalometer وهو جهاز يعمل على التقاط الصور الجوية على فترات زمنية محددة (شكل ٢-٢٤) ، وهو ما أعطى أفضلية كبرى لكاميرا فيرتشايلد فى تلك الفترة ، خاصة وأن تلك الكاميرا كانت تسمح بالتقاط صور رأسية تماما Vertical.

٣. الصور الجوية خلال الحرب العالمية الثانية.

لما كانت المعلومات التى قدمتها الصور الجوية خلال الحرب العالمية الأولى على قدر بالغ الأهمية للعسكريين ، كان هذا إيذاناً بالتوسع فى استخدامها فى عمليات الاستطلاع الجوى مع بداية الحرب العالمية الثانية. الأمر الذى دعى الجنرال فيرنر فون فريتش Werner von Fritsch رئيس الهيئة المركزية الألمانية آنذاك أن يقول "إن الدولة التى تمتلك استطلاعاً جوياً أفضل سوف تكسب الحرب القادمة" ، ومن ثم فاجأ الألمان الجميع بطوفان من طائرات الاستطلاع والتصوير الجوي مع بداية الحرب ، غير أن عمليات الاستطلاع الألمانية هذه كانت قد تراجعت كثيراً مع ذروة المعركة ، بينما حدث النقيض على الطرف الأخر حيث نشطت عمليات الاستطلاع والتصوير الجوى الأمريكية والبريطانية . فقد كان الألمان يقومون بإنشاء

[١] الحاجز المسئول عن فتح العدسة ومرور الضوء أثناء التصوير.

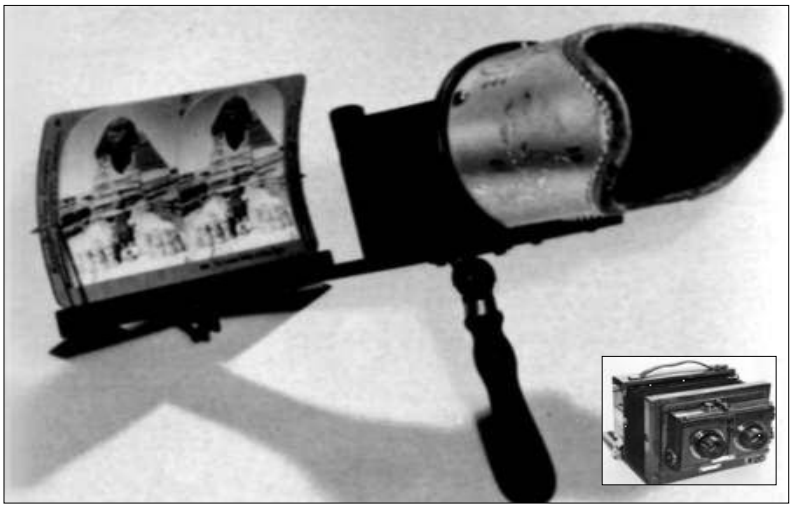
قواعد تجريبية للصواريخ والطائرات النفاثة فى بيينيموند Peenemunde على ساحل البلطيق منذ عام ١٩٣٧. وكان فيرنر فون براون Wernher von Braun وفريق عمله قد تمكنوا فى نحو ستة سنوات من العمل الجاد المتواصل من إنشاء وتطوير الصاروخ A-4 والذى تم إطلاقه أول مرة فى ٣ أكتوبر ١٩٤٢ لارتفاع ٦٠ ميلاً فوق سطح الأرض ، ليمثل بذلك أول القاذفات الباليستية وأول صاروخ يمكنه بلوغ نهايات الغلاف الجوى. ثم شرع الألمان بعد ذلك فى إنتاج هذا الصاروخ بعد تغيير أسمه إلى V-2 وذلك فى عام ١٩٤٣ ، ثم بدأوا فى إطلاق هذه الصواريخ على إنجلترا. بنهاية عام ١٩٤٢ علمت أجهزة الاستخبارات البريطانية بمكان وجود محطة الصواريخ فى بيينيموند Peenemunde على ساحل البلطيق ، ومن ثم طالبت طائرات الاستطلاع الجوى بتصوير المكان ، وقد أظهرت الصور موقع محطة الصواريخ ومركز الاختبارات الألمانى بجوارها .

وللإستدلال على أهمية الدور الذى لعبته الصور الجوية خلال الحرب العالمية الثانية يكفى أن ننوه إلى أنه قد تم تصوير ملايين الصور الجوية الاستطلاعية خلال المعركة. وكان قد تم تجهيز طائرات خاصة للقيام بمهمات التصوير ، حتى الطائرات المقاتلة كانت قد زودت هى الأخرى بكاميرات تصوير لخدمة عمليات الاستطلاع الجوى. كما كانت الصور الجوية تستخدم فى تقدير حجم الخسائر والدمار الذى حل بالمدن والقرى والطرق الرئيسية خلال المعركة. وبعد نهاية الحرب أعلن الأدميرال تورنر Turner رئيس القوات الأمريكية البرمائية فى الباسيفيك آنذاك قائلاً "إن الاستطلاع الجوى كان المصدر الرئيسى لإستخباراتنا فى الباسيفيك ".

٤. الرؤية المجسمة.

يعود اختراع الإستريوبتكون Stereopticon أو جهاز الرؤية المجسمة لعام ١٨٣٨ على يد الفيزيائى البريطانى السير تشارلس ويتستون Charles Wheatstone ، ويُعد هذا الجهاز الأساس الذى تم بناء عليه اختراع الإستريوسكوب الحديث المستخدم فى تفسير الصور الجوية. ويعتمد الإستريوبتكون على استعمال زوجيات الصور pair photographs. ويقصد بذلك صورتان يوضحان نفس الظاهرة مع وجود إزاحة مكانية بسيطة بينهما أثناء التصوير. وقد انتشرت هذه الطريقة فى مطلع خمسينات القرن قبل الماضى ١٨٥٠s ، حيث قامت العديد من الشركات بطباعة زوجيات الصور التى التقطها الرحالة والسائحون من مختلف أنحاء العالم وطرحتها فى الأسواق بهدف رؤيتها مجسمة بواسطة جهاز الإستريوبتكون (شكل ٢-٢٩). وقد كانت هذه الطريقة هى الوسيلة الوحيدة للتسلية قبل ظهور الأفلام المتحركة.

غير أن استخدام الإستريوسكوب فى تفسير الصور الجوية قد جاء متأخراً نسبياً مع نهاية الحرب العالمية الثانية تقريباً ، بعد أن شاع استخدام الصور الجوية الرأسية وتحديد الأُسس الهندسية الصحيحة لعمليات التصوير الجوى. وكذلك نسب التداخل الجانبى والرأسى بين الصور الجوية بهدف تصحيح تشوهات الصورة ومقياس رسمها للإستفادة منها فى رسم الخرائط الطبوغرافية.



شكل ٢-٢٩: جهاز الإستريوبتكون للرؤية المجسمة مستخدماً زوج من صور أبو الهول.

وأخيراً: المركبات الجوية الآلية (غير المآهولة) Unmanned Aerial Vehicles.

لعله لمن المؤسف حقاً أن يرتبط تطور وسائل التصوير الجوى والاستشعار عن بعد بأحداث بشرية مأساوية مثل الحرب العالمية الأولى والثانية وحرب كوبا وحرب فيتنام وحرب الخليج الأولى والثانية وكذلك حرب البوسنة والبلقان. غير أن هذا كله يُعد دليلاً على ضرورة امتلاك واستحدام هذه التكنولوجيا الاستراتيجية فى الوقت الراهن ليس فقط فى المجالات العسكرية ولكن فى المجالات السلمية أيضاً. ويكفى أن ننوه إلى أن قسم الدفاع

الأمريكى المعروف بـ Department of Defense DoD قد تكبد مبالغ طائلة (بلايين الدولارات) منذ عام ١٩٨٠ من أجل تطوير مركبات آلية بدون طيار يتم التحكم فيها من البعد بواسطة قاعدة أرضية تمدها الطائرة بالمعلومات أولاً بأول من خلال أنظمة الملاحة العالمية GPS. وتختلف قدرة هذه الطائرات حسب الهدف المستخدمة فيه ، فمثلاً هناك طائرات يمكنها الطيران فى حدود ٢٠٠ كم فقط بعيداً عن القاعدة المركزية ، بينما هناك طائرات أخرى يمكنها الطيران لما هو أبعد من هذا. كما أن منها ما يمكنه الطيران والمكوث فى الجو لفترات طويلة بهدف الاستطلاع ومتابعة التغيرات الجغرافية فى مكان ما.

وتستخدم هذه الطائرات بوجه عام فى عمليات التصوير الرقمى والتصوير فى مجال الأشعة تحت الحمراء وكذلك الرادار. وكلها ذات أحجام صغيرة تقريباً ومصنعة من مواد خفيفة. ويُستعمل عدداً منها فى مراكز الأبحاث العلمية حالياً فى تحليل الموارد الأرضية والتخطيط العمران ودراسة الأخطار الطبيعية ، نظراً لما تتيحه من صور جوية ذات دقة مكانية عالية وبتكاليف زهيدة إذا ما قورنت بتكلفة صور الأقمار التجارية.

الفصل الثاني : تعريف بالصور الجوية وكاميراتها ومعالجة أفلامها

١: مقدمة.

تعرفنا في الفصل السابق علي تطور إختراع كاميرا التصوير وكذلك وسائل الطيران المختلفة التى استخدمت فى عمليات التصوير الجوى مثل البالونات والحمام والصواريخ والطائرات الشراعية وغيرها. كما أوضحنا الدور الذى لعبته الصور الجوية منذ نهاية الحرب العالمية الأولى وخلال الحرب العالمية الثانية ، وكذلك أثناء الحرب الباردة بين الولايات المتحدة الأمريكية والإتحاد السوفيتى السابق. كل هذه تعد دلائل قوية على أهمية تلك التقنية الحديثة التى سرعان ما انتشرت وشاع استخدامها فى المجالات المدنية التطبيقية مثل إنتاج وتحديث الخرائط الطبوغرافية وخرائط الملكيات وحصر الموارد الطبيعية ودراسات التربة والنبات الطبيعى والزراعة والجيولوجيا وغيرها. والتصوير الجوى هو أحد فروع علم المساحة التصويرية والمعروف بالفوتوجرامترى photogrammetry ، وهو مصطلح يتكون من ثلاثة مقاطع إغريقية هى photo بمعنى ضوء و gramma بمعنى رسم ، ثم metron بمعنى قياس ، بذلك تكون الترجمة الحرفية لها "الرسم بواسطة الضوء" وهو ما نسميه بعلم المساحة التصويرية. أما الفرع الأخر من المساحة التصويرية فيعنى بالمساحة التصويرية الأرضية وهو موضوع خارج دائرة اهتمامنا الحالية.

٢: التعريف.

يمكن تعريف المساحة الجوية تبعاً للجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية على أنه فن وعلم الحصول على قياسات صحيحة من خلال الصور الجوية(Manual of Photogrammetry, 1952; 1966). كما

تعريف عملية تفسير الصور الجوية على أنها عملية فحص للصورة بهدف تحديد ظاهرات السطح ومعرفة دلالاتها (Colwell, 1960). ويمكن تقسيم المساحة الجوية بوجه عام من حيث أغراضها إلى قسمين رئيسيين هما:

- المساحة التصويرية المترية Metric Photogrammetry.
- المساحة التصويرية التفسيرية Interpretative Photogrammetry.

أما الفرع الأول فيهتم بطرق القياس من الصور الجوية مثل تحديد الأطوال والمساحات والارتفاعات...إلخ ، بينما يختص القسم الثانى بقراءة الصور الجوية وتفسيرها من خلال التعرف على ظاهرات سطح الأرض الطبيعية والبشرية.

٣: أهمية الصور الجوية:

- تعطي الصورة الجوية صورة حقيقية لسطح الأرض ومعالمه المختلفة من جبال وسهول ومنخفضات وأنهار ومدن وطرق وخلافة ويمكن رؤية ذلك في صورة مجسمة تحت جهاز الأستريوسكوب التي قد يصعب رؤيتها علي الطبيعة .
- تستخدم في حصر الأراضي وتحديد أنواع التربة.
- تعطي الصور الجوية فرصة للتعرف علي بعض الاختلافات في أنماط شكل السطح التي يصعب رؤيتها في الطبيعة من خلال الدراسات الحقلية حيث تيسر النظرة المجسمة بواسطة أجهزة

الأستريوسكوب فرصة في تحديد بعض الاختلافات التي قد لانراها أثناء سيرنا الأقدام علي الأرض.

- إمكانية استخدام الصور الجوية في دراسة المناطق التي يصعب دراستها ميدانيا فيمكن لنا دراسة المناطق الوعرة والمستقعات والغابات المتشابكة .

- تمكننا من التعرف علي الوحدات الأرضية وأشكال السطح بسرعة مما يقلل من تكاليف الدراسات الميدانية .

- تعطي الصورة معلومات دقيقة عن مواقع بعض المظاهرة الأرضية وتحديد موقعها جغرافيا بدقة.

- تعد من أرخص طرق الحصر للمساحات الكبيرة والمتسعة والأماكن التي يصعب الوصول إليها.

- تستخدم الصور الجوية في إنتاج الخرائط الكنتورية.

- تستخدم في دراسات التخطيط العمراني والتخطيط الإقليمي للمناطق الجديدة أنني لا يوجد لها خرائط.

- إمكانية استخدام الصور الجوية في دراسات التتبع والمراقبة في الحرب وفي السلم وذلك لدراسة المتغيرات في استخدام الأرض، وفي حرائق الغابات ، وفي زراعة الغابات ويستلزم عمل خرائط لحصرها لإعطاء متخذ القرار فرصة الحفاظ علي الغابة من التدهور.

ويدخل موضوعات الصور الجوية ضمن المساحة التصويرية التي تضم كل من:

- - المساحة التصويرية الأرضية الي تؤخذ بواسطة آلة تصوير علي حامل بوضع الأرض في نقطة معروفة.
- المساحة التصويرية الجوية وهي تؤخذ بالكاميرا الموجهة لسطح الأرض بحيث يكون محورها موازيا لسطح الأرض والتي تتم من خلال البالونات والطائرات..
- **إستخدامات الصور الجوية :**
- تُعد الصور الجوية وثيقة تفصيلية للمنطقة المصورة لحظة وتاريخ التقاط الصورة.
- تستخدم الصور الجوية في إعداد المخططات وإنتاج الخرائط الطبوغرافية بدقة عالية وتكلفة أقل ومدة زمنية قصيرة.
- تفيد المساحة الجوية في تخطيط وتصميم المدن الجديدة ، كما تستخدم في تحديد أفضل المسار للطرق وشبكات المياه والصرف الصحي والكهرباء .
- تستخدم الصور الجوية كبديل عن المساحة الأرضية في المناطق التي لا تتوافر لها معلومات مساحية ، ويصعب الوصول اليها ميدانياً، وبذلك يتم الإعتماد عليها بشكل أساسي.

- تستخدم الصور الجوية في عمليات التنقيب عن المعادن وتحديد أماكن وجودها ، وفي دراسات المياه الجوفية، وعمل الخرائط الجوية.

- تساعد الصور الجوية في دراسة أنواع التربة السطحية للأرض، ومدي ملائمتها للأغراض المختلفة (الزراعة والصناعة).

- تستخدم في رصد التغيرات العمرانية ومتابعة تطورات المدن عبر التاريخ .

- يستخدم العسكريون الصور الجوية في مجال الاستخبارات العسكرية لإمداد الجيوش بمعلومات عن مواقع ومعدات ومحاور تحركات العدو.

- تفيد الصور الجوية من الناحية المدنية في إنتاج الخرائط الكادسترالية والحضرية وخرائط فك الزمام، لتحديد الملكيات الخاصة والعامة.

- تستخدم في الدراسات الإحصائية كحصر المباني والحيازات الزراعية .

- ساعدت التكنولوجيا الحديثة في التقاط صور ثلاثية الأبعاد بسرعة كبيرة من خلال الكاميرات الرقمية المتخصصة في عملية رسم الخرائط أفضل مما كان في نظام الكاميرات الفيلمية.

- تمكن المساحة الجوية من إعداد المخططات والخرائط الطبوغرافية وتعيين إحداثيات النقاط وحساب المسافات والمساحات.

٤- عيوب الصور الجوية :

- تأثير الأحوال الجوية الصعبة علي وجود الصور الجوية وخط الطيران ، حيث أن الثلوج قد تعطي معلومات خاطئة عن طبيعة الأرض.
- أن المناطق التي تغطي بالأشجار أو النباتات أو المباني قد لا تعطي خرائط دقيقة.
- تعتمد دقة خطوط الكنتور والقطاعات الأرضية علي إرتفاع الطائرة ودقة نقاط الربط الأرضية.
- إن التصوير الجوي بشكل عام لا يمكنه أب يعطي نفس مستوي الدقة في أعمال المساحة التي يمكن أن تنفذ بأعمال المساحة الميدانية .
- تواجه عمليات التصوير الجوي التقليدي مشكلة في عملية مسح ضوئي لكل الصور الجوية التي صورت بنظام الكاميرا التقليدية البلاستيكية، خاصةً إذا كانت منطقة التصوير كبيرة المساحة . أي أن هنالك آلاف من الصور الجوية تحتاج لعملية مسح ضوئي.
- تتطلب الصور الجوية معدات باهظة الثمن للمعالجة كما أنها تحتاج إلي خبراء متخصصون في إنتاج الخرائط، كما أنها تتطلب أيضاً موافقات حكومية وتصاريح دولية من الدول المجاورة.
- لا يمكن أن تزودنا الصور الجوية بالمعلومات الدورية عن سطح الأرض إلا بعد فترات طويلة قد تصل الي بضع سنوات.

- تخضع عملية التصوير الجوي للقيود السياسية حيث يصعب الطيران وأخذ الصور الجوية للمناطق الحدودية دون تصاريح مسبقة من دول الجوار، ما عدا الصورة شديدة الميل والتي يظهر فيها الأفق وتكون غير واضحة إلي حد كبير.

- لا يوجد مقياس رسم ثابت لجميع أنحاء الصور الجوية ، تختلف باختلاف المناسيب.

- هناك العديد من المعوقات التي تحول بين عملية التصوير واختفاء الظاهرات الأرضية من الصور ومنها (السحب ، الغبار، الدخان، انعكاس ضوء الشمس علي المسطحات المائية والزجاجية والمسطحات اللامعة).

- يلاحظ أيضاً أن هناك نسبة تشوه في أي صورة جوية ، بداية من مركز الصورة الذي تقل فيه نسبة التشويه إلي أقل درجة وتزداد هذه النسبة كلما اتجهنا إلي أطراف الصورة.

- من عيوب التصوير الجوي أنه يتم داخل الغلاف الجوي حيث تتسبب الرياح في عمل زحزحة لمسار الطائرة، مما ينتج عنه حدوث فجوات بين الصور وبعضها .

٥: الفرق بين الصورة الجوية والخريطة الطبوغرافية.

اتفقنا إذن أن المساحة الجوية تختص بقياس وتفسير ظاهرات السطح من الصور الجوية ، وذلك بهدف إنشاء الخرائط بكافة أنواعها كالطبوغرافية والكادسترالية والبلانيمترية ...إلخ. إذن الخريطة فى واقع الأمر هى أحد مخرجات عملية تفسير الصور الجوية ، ومع هذا فهناك عدة فروق جوهرية بين الصورة الجوية والخريطة ينبغى الإشارة إليها:

- إن الخريطة والصورة الجوية كلاهما يعد تمثيلا لسطح الأرض ، غير أن الصورة الجوية هى تمثيل مطلق لسطح الأرض دون أى تغير أو حذف أو تحيز من قبل المصور. أما الخريطة فتخضع فى الواقع إلى عوامل كثيرة قد تؤدى إلى إبراز ظاهرة معينة على حساب ظاهرة أخرى ، ويتوقف هذا بطبيعة الحال على الغرض الرئيسى من إنشاء الخريطة.
- رغم كون الخريطة أحد مخرجات عملية تفسير الصور الجوية إلا أنها من الناحية الهندسية أكثر دقة عن الصورة الجوية. فالخريطة ترسم بمسقط رأسى أو عمودى ortho-projection يكون متساوياً فى جميع أنحاء الخريطة ، وتظهر فيها مظاهر السطح فى مواضعها الصحيحة وبنفس أحجامها منسوبة إلى مقياس الرسم.
- أما الصورة الجوية فهى ذات إسقاط مركزى centric ناتج عن تقاطع حزمة من الأشعة الضوئية الصادرة من نقطة مركزية هى مركز عدسة كاميرا التصوير. لهذا فإن مقياس رسم الصورة يختلف عند مركز الصورة عنه عند الأطراف (شكل ٦-١).

- كذلك تتضمن الصور الجوية عيوباً هندسية أخرى ناتجة عن ميل الطائرة أو إنحرافها عن اتجاه خط الطيران الصحيح ، إلى جانب الإزاحة التضاريسية.

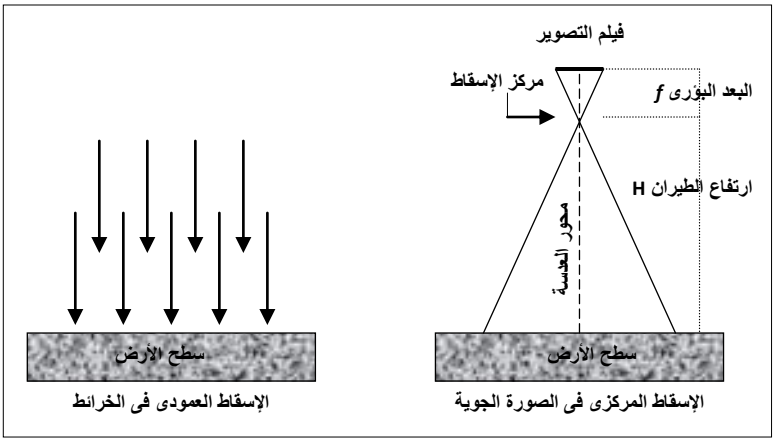
٦: الفرق بين الصور الجوية والتصوير الفضائي:

الخصائص	التصوير الجوي	التصوير الفضائي
منصة التصوير	داخل الغلاف الجوي	من الفضاء الخارجي
المنطقة المصورة	دولة أو منطقة محدودة	الكرة الأرضية بأكملها
التكلفة	عالية جداً	منخفضة مقارنة بالتصوير الجوي
الدقة المكانية	أقل من ١٠سم	المتاح ٣٠ سم
وقت التصوير	جزء من اليوم غالباً ساعة الظهيرة	سنوات طويلة

المساحة المصورة	رقعة مساحية صغيرة من الأرض	رقعة مساحية كبيرة من الأرض

٧: كاميرا التصوير الجوى.

تستخدم فى عمليات التصوير الجوى كاميرات دقيقة للغاية لديها القدرة على إظهار تفاصيل السطح. وتعتمد هذه الكاميرات على الحركة الآلية عندما تكون الطائرة فى وضع الطيران. ويتم معايرة الكاميرا بداية بضبط التاريخ وكذلك ضبط العلاقة بين العدسات وعلامات الإسناد أو نقاط ضبط الإتجاه fiducial marks بالإضافة إلى ضبط فيلم التصوير. ثم يتم إختبارها بعد ذلك بعناية بالغة للتأكد من صلاحيتها لعملية التصوير الجوى. ويمكن تحديد المعايير القياسية التى يجب توافرها فى كاميرا التصوير الجوى طبقاً للمساحة الجيولوجية الأمريكية USGS على النحو التالى:



شكل ٦-١: مقارنة بين الإسقاط المركزى فى الصور الجوية والإسقاط العمودى فى الخرائط.

- إختيار كاميرا تصوير مناسبة خالية من عيوب وتشوهات العدسات ، على أن تكون ذات بعد بؤرى مناسب ١٥٣ مم مثلاً (٦ بوصة) ويتم معايرته لأقرب ٠,٠٠١ مم.
- يجب ألا يزيد متوسط التشوه الإشعاعى radial distortion فى أى إتجاه عن ١٠ ميكرون أو ٠,٠١ مم.
- تصل الدقة المكانية فيها +١٠٠ خط لكل ميلليمتر واحد.
- يجب أن تكون الكاميرا مزودة بأربع أو ثمانى علامات إسناد fiducial marks تستخدم فى تصحيح الإتجاهات. وينبغى أن تتعامد كل علاماتين متقابلتين بزاوية قائمة (٣٠′ ±٩٠°). على أن يشير هذا التقاطع أو التعامد إلى الموقع الحقيقى للنقطة المركزية principal point أو مركز الصورة.
- يجب أن تكون المرشحات الضوئية filters المستخدمة فى الكاميرا متوازية تماماً فى حدود ١٠ ثوان من الدرجة. كما ينبغى أن تكون خالية تماماً من العيوب بحيث لا تؤثر على خصائص العدسة ومن ثم تؤثر سلباً على جودة ودقة الصورة.
- فى حالة استخدام نماذج الإستريو Stereomodel الخاصة برؤية البعد الثالث وحساب الارتفاع يجب ألا يزيد معامل الاستواء نموذج الاستريو أو التفاوت فى حساب الارتفاع elevation discrepancies بين نقط المناسيب على الصور المتتابعة عن ١/٨٠٠٠ من قيمة البعد البؤرى ، وذلك

فى حالة استخدام كاميرات ذات بعد بؤرى ٦ بوصة أو ١٥٣ مم. حتى فى حالة استعمال كاميرات أخرى فإن معامل الاستواء يجب ألا يزيد بصفة عامة عن ٢٥ ميكرون.

- يجب أن يكون حاجز العدسة من النوع متغير السرعة ذو كفاءة وسرعة عالية تتراوح بين ٧٠% - ٧٥%.
- يجب تثبيت مخزن الفيلم جيداً فى وضع مستوى تماماً بحيث لا يزيد ميله عن ١٣ ميكرون.

والواقع ان كاميرات التصوير الجوى باهظة الثمن للغاية نظراً لما تحتاجه من عمليات ضبط أو معايرة معقدة لكافة مكوناتها بما يضمن نجاح ودقة عملية التصوير الجوى إذ لا مجال هنا لوقوع أية أخطاء تعوق عملية التصوير التى تتكلف هى الأخرى مبالغ طائلة. وقبل بدء التصوير يتم التحضير جيداً لتثبيت الكاميرا فى قاعدة الطائرة ، ويتم ذلك بفتح ثقب دائرى مساوى لقطر قاعدة الكاميرا فى قاع الطائرة. ويراعى عند تثبيت الكاميرا سهولة حركتها ودورانها على المستوى الأفقى وإمكانية ميلها رأسياً فى اتجاهات عديدة حتى تلبى احتياجات عملية التصوير (شكل ٦-٢).

٨: أنواع كاميرات التصوير الجوى.

١,٨: تصنيف كاميرات التصوير الجوى حسب طريقة التصوير.

تنقسم كاميرات التصوير الجوى من حيث طريقة عملها بوجه عام إلى نوعين رئيسيين هما كاميرا التصوير العادية التناظرية Analog Camera وكاميرا التصوير الرقمية Digital Camera. وفيما يلى عرض سريع لمكونات كل منهما:

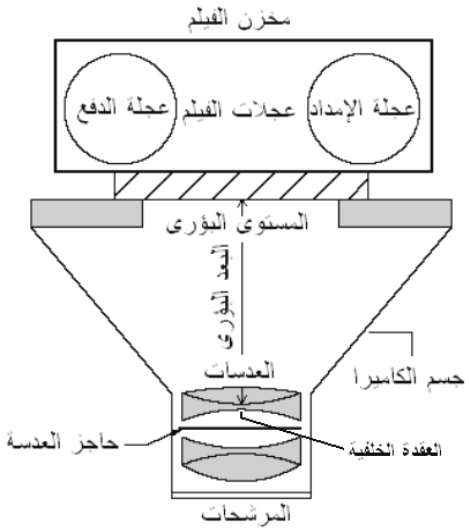
١,١,٨: مكونات الكاميرا العادية.

يوضح شكل ٦-٣ تخطيطا مبسطاً للمكونات الرئيسية لكاميرا التصوير العادية والتى يمكن حصرها على النحو التالى:

- **العدسات وملحقاتها.**

تتكون العدسة عادة من قطعتين أو أكثر بهدف تجنب العيوب الناتجة عن استخدام العدسات المفردة مثل زيغ الضوء aberration وتشويه الصورة distortion. وتقوم العدسات بتجميع الضوء المنعكس من ظاهرات السطح أثناء التصوير وتسجيله على اللوح السالب أو فيلم التصوير. وتتوقف كمية الضوء الداخل إلى العدسة على حاجب الضوء diaphragm وسرعة الغالق shutter اللذان يعملان معاً على تنظيم مرور الضوء إلى العدسة. ويوضع الحاجب عادة بين العدسات وفى منتصف المسافة بينهما ، بحيث يعمل على تحديد حجم الأشعة الضوئية التى يمكن أن تمر بالعدسات. أما سرعة الغالق shutter speed فهى تشير إلى الفترة الزمنية التى يسمح فيها للضوء بالمرور للعدسات ، وهى فترة متغايرة تتراوح فى العادة بين ١/١٠٠ و١/١٠٠٠ من الثانية وسوف نعرض لها بشئ من التفصيل فيما بعد.

شكل ٦-٢: أحد كاميرات التصوير الجوى مثبتة فى قاعدة الطائرة.



شكل ٦-٣: المكونات الرئيسية لكاميرا التصوير العادية.

من ناحية أخرى قد تستعمل مرشحات ضوئية (فلاتر) filters لزيادة تباين contrast ألوان الصورة ومن ثم وضوح معالم السطح بشكل أفضل على الصورة. كما تعمل المرشحات كذلك على تقليل الغيوم Haze الناتجة عن جزيئات الأتربة الموجودة فى الجو والتى تؤدى إلى خفض جودة الصورة الجوية.

وتوضع المرشحات عادة أمام العدسة مباشرة مما يتطلب ضرورة زيادة زمن فتح العدسة ، ويتم ذلك من خلال حساب المدة اللازمة لفتح عدسة الكاميرا وضربها فى معاملات خاصة بكل مرشح من مرشحات الألوان. وهذه المعاملات هى ١٠٥ لمرشح الضوء الأصفر ، ٢ لمرشح الضوء الداكن ، ٤ لمرشح الضوء الأحمر. كما أن هناك نوع أخر من المرشحات يعمل على توزيع الضوء ، وهى مرشحات تستخدم فى حالة التصوير بواسطة العدسات ذات الرؤيا الواسعة أو المنفرجة (١٢٠-١٣٠ درجة) ، التى تسمح بمرور قدر أكبر من الضوء عند المركز عنه عند جوانب أو أطراف الصورة. ويستعمل هذا النوع من المرشحات الضوئية فى منع مرور جزء معين من الضوء عند المركز وتعريض الجوانب لقدر أكبر من الضوء بحيث يكون متقارباً مع كمية الضوء المارة عند مركز العدسة. أخيرا فهناك من المرشحات ما يعمل على مرور الأشعة تحت الحمراء فقط دون غيرها ، وهى تستخدم فى أغراض خاصة جداً مثل دراسة حالة الغطاء النباتى.

- **سرعة الكاميرا Speed of the camera.**

تشير سرعة الكاميرا إلى النسبة بين البعد البؤرى f وقطر diameter فتحة العدسة d ، وتعرف هذه العلاقة بالـ f/stop أو f/d. فمثلا كاميرا بعدها البؤرى ١٠٠ مم وأقصى قطر لفتحة العدسة ١٠مم ، فإن سرعة العدسة f/10. وعلى فرض أن أقصى قطر لفتحة العدسة ٢٠مم فإن سرعة العدسة f/5. أما عن دلالة هذه القيمة فكلما صغرت قيمة f/stop كلما كانت سرعة العدسة كبيرة ، فالعدسة التى سرعتها f/5 أكثر سرعة عن العدسة f/10. وتشير هذه القيمة إلى المدة اللازمة لمرور الضوء فى عدسة الكاميرا فى وحدة معينة من الزمن. ويعود السبب الرئيسى فى إختيار كاميرات ذات سرعة عالية فى عمليات التصوير الجوى إلى أن عملية التصوير تتم أثناء تحرك الطائرة – بإستثناء الطائرات الهليكوبتر- وتعرضها للاهتزاز والتذبذب ، لذلك فمن الضرورى أن تكون الكاميرا سريعة بقدر كاف لجمع أكبر قدر ممكن من الضوء فى وقت قصير جداً. ويوضح شكل (٦-٤) العلاقة f/stop أو العلاقة بين قطر فتحة عدسة التصوير والبعد البؤرى ، حيث تتراوح هذه النسبة عادة بين f/2.8 وf/22 فى حالة التصوير الجوى. ويلاحظ أن النسبة الأقل هى الأكثر اتساعاً وبالتالى تسمح بمرور أكبر قدر ممكن من الضوء خلالها.

سرعة الحاجز Shutter speed.

تحتاج كاميرات التصوير إلى ضبط الحاجز بما يضمن تعرض الفيلم لكمية مناسبة من الضوء لضمان نجاح عملية التصوير الجوى. وتعرف المدة اللازمة لمرور الضوء بزمن التأثر أو التعرض exposure time ، ويتم التحكم فى زمن التأثر من خلال حاجز الكاميرا. وتتوقف سرعة الحاجز أثناء

التصوير على الظروف الجوية وقت التصوير ، إذ لا تزيد سرعة الحاجز عادة عن واحد ثانية. وفى وقت الظهيرة عندما تكون السماء صافية يفضل استعمال عدسة بسرعة f/16 على أن تكون سرعة الحاجز ١/٢٠٠ من الثانية. أما لو كانت السماء غائمة فوق الطائرة ولا تسمح برؤية ظاهرات السطح بوضوح فإنه يفضل زيادة كمية الضوء التى تمر عبر العدسة ، ويتم هذا عادة بطريقيتين الأولى برفع سرعة العدسة حيث يفضل هنا استعمال عدسة بسرعة f/11 والتى تعمل على مضاعفة فتحة العدسة ، وبالتالى تزداد كمية الضوء المارة إلى عدسة التصوير. أما الطريقة الثانية فتتم بتقليل سرعة الحاجز إلى ١/١٠٠ من الثانية مثلا بحيث يسمح بمرور الضوء لفترة زمنية أطول تساوى ضعف الفنرة الزمنية المسموح بها فى حالة السماء الصافية. وعادة يفضل استعمال عدسات بسرعة f/16 وحاجز بسرعة ١/٢٠٠ فى حالة التصوير الجوى ، ويتم تغيير هذه القيم تبعاً للظروف الجوية وزمن التصوير وسرعة الطائرة. ويوضح جدول ٦-١ التسلسل الدولى لكل من f/stop وسرعة الحاجز المستخدمة فى التصوير الجوى.

جدول (٦-١) التسلسل الدولى لكل من f/stop وسرعة الحاجز.

f/stop
عدسات ذات فتحات ضيقة ---------- عدسات ذات فتحات واسعة
f/1---1.4---2---2.8---4---5.6---8---11---16---22---32---إلخ
سرعة الحاجز
سريع ---------- بطئ
1-1/12-1/4-1/8-1/16-1/30-1/60-1/125-1/250-1/500-

إلخ...1/200-1/1000

- **المستوى البؤرى والبعد البؤرى Focal plane and focal length.**

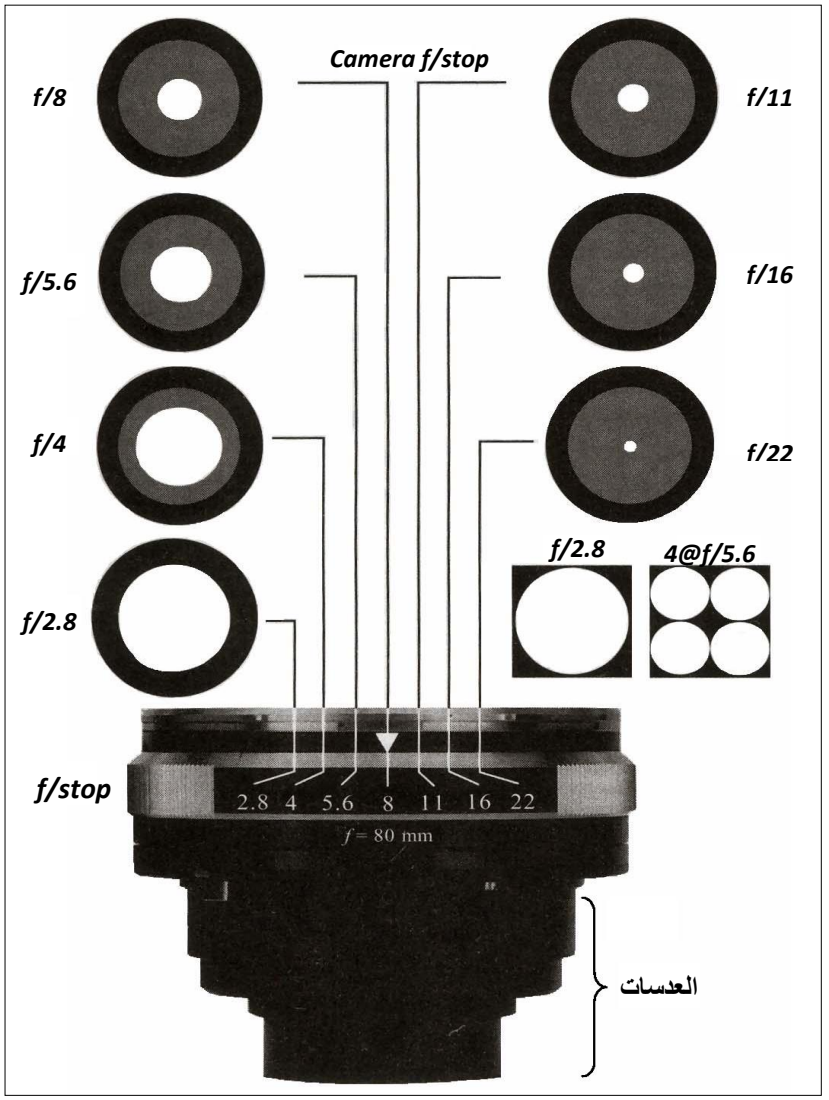
يعرف المستوى المثبت عليه فيلم التصوير داخل الكاميرا بالمستوى البؤرى أو مستوى الفيلم. أما البعد البؤرى فيمثل المسافة بين نقطة عقدة المؤخرة rear nodal point لعدسة التصوير وحتى مستوى الفيلم (راجع شكل ٦-٣). ويتراوح البعد البؤرى للكاميرات المستخدمة فى التصوير الجوى بين ٨٨ مم (٣,٥ بوصة) ، ١٥٢ مم (٦ بوصة) ، ٢١٠ مم (٨,٢٥ بوصة) ، ٣٠٥ مم (١٢ بوصة). ويفضل عادة استخدام العدسات ذات البعد البؤرى الكبير فى عمليات التصوير الجوى حيث تعد ملائمة للتصوير من ارتفاعات شاهقة.

- **مخروط العدسة Lens cone .**

يتكون مخروط العدسة من أجزاء صغيرة تفصل بين عدسات التصوير والحاجز وكذلك عجلات دفع وسحب فيلم التصوير. كما يربط مخروط العدسة مجموعة العدسات فى المستوى البؤرى ويجعلها على مسافة ثابتة من اللوح السالب أو فيلم التصوير.

- **مخزن الفيلم Film magazine:**

يمثل مخزن الفيلم وحدة منفصلة عن كاميرا التصوير الجوى يمكن نقلها وتثبيتها فى أى وقت. ويحتوى هذا المخزن على فيلم التصوير واسطوانتين إحداهما تتضمن الفيلم قبل التصوير وتسمى عجلة الإمداد ، أما الثانية على الجانب الأخر فتعرف بعجلة الدفع التى يتم جمع أو لف الفيلم عليها بعد التصوير. كما يحتوى مخزن الفيلم على سطح رقيق للضغط على الفيلم لضمان الإبقاء على استقامته بحيث يظل الفيلم مستوياً داخل مخزن الفيلم.



شكل ٦-٤: بعض نماذج من f/stop توضح العلاقة بين البعد البؤرى وقطر فتحة العدسة.

- **جسم الكاميرا Camera body.**

يشمل جسم الكاميرا باقى مكونات كاميرا التصوير من أجزاء ميكانيكية وكهربية ، وهى التى تعمل على تشغيل الكاميرا وامدادها بالطاقة.

- **أجهزة التحكم الإضافية.**

تزود كاميرات التصوير الجوى بأجهزة تحكم إضافية منها:

- وحدة التحكم فى الكاميرا ووظيفته الأساسية تشغيل أجزاء الكاميرا ومعرفة عدد الصور التى تم تصويرها والمتبقية من الفيلم.
- منظم التقاط الصور intervalometer ويعمل على تنظيم الفترة الزمنية اللازمة بين كل صورتين متتاليتين بما يسمح بوجود تداخل جانبى بينهما.

- جهاز معاينة الصور view finder وهو أشبه بالكاميرا الفرعية التى تقوم بالتقاط صور مصغرة لمعاينة المنطقة التى سوف يتم تصويرها بالكاميرا الرئيسية.
- مولد كهربى لتوفير الطاقة اللازمة لتشغيل الكاميرا والأجهزة الإضافية.
- التيمتر لحساب الارتفاع عند إلتقاط كل صورة.
- نظام التحكم الضوئى exposure control system ويستخدم للتحكم آلياً فى فتح حاجب الضوء وزمن العدسة وشدة الإضاءة.

مشكلات الكاميرات التقليدية :

- تُعد نسبة التداخل (الأمامي والجانبي) من أكثر المشكلات التي تواجه الكاميرات التقليدية ، حيث أنه كلما ذادت نسبة التداخل الأمامي الي (٨٠ أو ٩٠%) كلما زادت تكلفة أفلام التسجيل المستخدمة، بالإضافة إلي تكلفة المعالجة، وتُعد نسبة التداخل المثالية هي (٦٠%) للتداخل الأمامي، (٣٠%) للتداخل الجانبي.
- وتُعد عملية المسح الضوئي للصور الجوية (Image Scanning) من أكبر المشكلات إذ تحتاج الصور الجوية التي يتم تصويرها بالكاميرات التقليدية (الفيلمية) إلي عملية مسح ضوئي لتحويلها إلي صورة رقمية وإدخالها إلي أنظمة الكمبيوتر، ويتم ذلك من خلال ماسحات ضوئية خاصة بالصور الجوية يمكنها الحفاظ علي سلامة النظام الإشعاعي والهندسي للصور الجوية.

٢,١,٨: كاميرا التصوير الرقمية Digital camera.

لا تعتمد كاميرا التصوير الرقمية فى عملية التصوير على استخدام الأفلام بأى حال من الأحوال ، وإنما تعتمد على أجهزة الشحن المترابطة charge coupled devices (CCD) ، حيث تقوم هذه الأجهزة بتسجيل الصورة فى شكل مصفوفة من الخلايا pixel matrix ، ويتم حفظها على وسط تخزين قبل نقلها للحاسب الآلى. والواقع أن أجهزة الشحن المترابطة تشبه فى تركيبها محسات التصوير متعددة الأطياف المستخدمة فى الأقمار الصناعية. وتستطيع الكاميرات الرقمية تخزين عدد كبير من الصور الرقمية وتحسين جودة الصور آلياً طبعاً للظروف الجوية السائدة أثناء التصوير.

مميزات الكاميرات الرقمية:

- تمتاز الكاميرات الرقمية بقدرتها علي التصوير والمسح الجوي في آن واحد وبالتالي لا تحتاج لعملية مسح ضوئي لتحويلها إلي شكل رقمي.
- تتميز الكاميرات الرقمية بمنافعها الكبيرة في التقاط الصور، حيث تلتقط الصور فيها وتخزن بنظام (12 Bit) ، إضافة إلي جمع المعلومات بطريقة آلية، مما يعطي ناتجاً عاليا أثناء التحليل.
- ساعدت الكاميرات الرقمية علي توفير التكلفة العالية في إنتاج وتحميض الأفلام من الكاميرات التقليدية، حيث أن مجموعة الحساسات الإليكترونية في الكاميرات الرقمية جعلت منها وسيلة للتصوير أكثر من مرة لفترات مختلفة.
- يعتبر نظام التصوير في الكاميرات التقليدية نظاماً للألوان لا يمكن التعديل علي الفيلم بتغير قيم أو بترتيب الأطياف حيث يتم تخزين

الأشعة داخل الفيلم الحساس المصنوع من هاليدات أو نترات الفضة وبالتالي تصبح الألوان ثابتة لا يمكن تغييرها أو تعديلها علي العكس من نظام التخزين في الكاميرات الرقمية التي تتعامل مع الأشعة بنظام رقمي اليكتروني ، حيث تصمم المستشعرات لاستقبال الأشعة حسب طولها الموجي، وبالتالي يمكن تحويل تلك القيم إلي إشعاع مرة أخري والتعامل معها بالتصحيح الإشعاعي أو تحويل قيم الخلايا إلي أشعة، وبالتالي يمكن حساب كمية الأشعة المنعكسة من الظاهرات الأرضية ومنها يمكن التعرف علي صحة النبات وأنواع الصخور وغيرها.

مقارنة بين الكاميرات التقليدية والرقمية:

علي الرغم من تشابة الكاميرات الفيلمية صغيرة الحجم مع الكاميرات الرقمية في الإطار الخارجي ، إلا أنهما يختلفان تماماً من حيث نظام الكاشف، حيث يمكن إيجاز الاختلافات الأساسية بينهما فيما يلي :

- **التقاط الصورة Image Capture:** يستخدم في الكاميرات العادية فيلم حساس للضوء مع هاليدات الفضة في الطبقة الحساسة بالفيلم، في حين أن الكاميرات الرقمية تستخدم حساس للضوء إليكترونياً من نوع(CCD) أو كاشف من نوع (CMOS) .
- **تخزين الصور Image Storage:** تستخدم الكاميرات الفيلمية الأفلام الفتوغرافية (السلبيات والإيجابيات أو المطبوعة) ، في حين أن الكاميرات الرقمية تستخدم بطاقات الذاكرة الفلاش ميموري، والأقراص الصلبة (Harddisk) .

- **طريقة التصوير وأخذ اللقطات**: تعمل الكاميرات الفيلمية بطريقة التقاط صور متتالية بينها تداخلات أمامية وجانبية، لا تقل فيها نسبة التداخل الجانبي عن ٣٠% ، أما في الكاميرات الرقمية فإن عملية التصوير تتم بطريقة المسح المستمر ، في ثلاث محاور (أمامي، عمودي، خلفي ' ولا تحتاج لنسبة تداخل جانبي كبيرة ، بطريقة المسح المستمر (Pushbroom).
- تحتاج الصور الفيلمية لعمل **موزايك** (Mosaic) لتركيبها في صورة واحدة ، علي العكس من الصور الرقمية التي تتم عملية تصويرها في **لقطة واحدة** مستمرة.
- **الدقة المكانية Spatial Resolution**: تُعد الأفلام البلاستيكية أفضل بكثير في دقتها من نظام الكاشف بالأجهزة الإليكترونية ، حيث أن دقة وضوح الصور الرقمية ربما لا تساوي دقتها في حالة الصور الفوتوغرافية أو الضوئية ، وذلك لأن خلايا Pixel لها حجم وشكل موحد ، لكن هاليدات الفضة لها أحجام وأشكال عشوائية .
- **نقل البيانات Data Transmission:** في حالة الصور الفوتوغرافية يجب أن ترسل بالبريد، أما في حالة الليانات الرقمية يمكن أن ترسل عن طريقة الأنرنت والكمبيوتر، أو القياس عن بعد (في حالة الأقمار الصناعية) . لكنه يمكن للصور الفوتوغرافية أن تصبح صوراً رقمية في حالة إذا تم مسحها ضوئياً Scanned ، بجهاز المسح الضوئي الذي يرتبط بجهاز الكمبيوتر.
- **طريقة العرض المرن Soft Copy Display:** يمكن للصور التي بحجم (٣٥ ملم) التي تنتجها الكاميرات الفيلمية أن تعرض

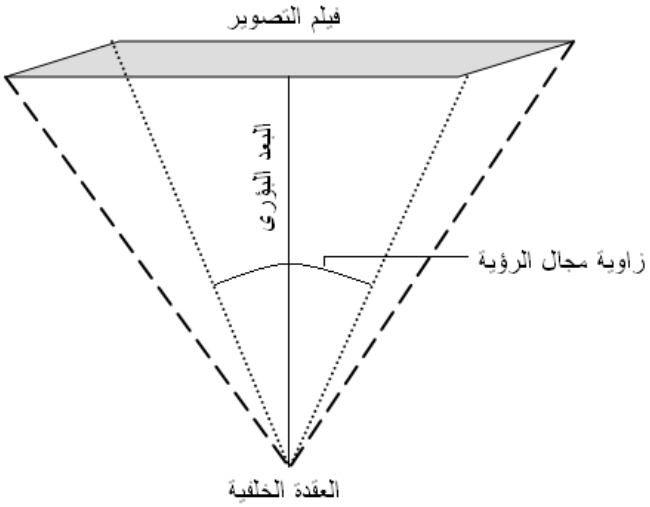
بواسطة شاشة العرضProjected أما في حالة عرض الصور الرقمية فإنه يتطلب العرض علي شاشات الكمبيوتر والتلفاز.

- **عرض النسخ الثابت Hard copy Display:**الكاميرات الفيلمية تحتاج لطباعة الفيلم قبل عرضه، في حين أن النسخة الرقمية يتطلب الأمر طباعتها من الكمبيوتر باستخدام أي طابعة من الطابعات المختلفة (القياسية، الناقشة للحبر، أو الليزر).
- **وقت المعالجة Access Time:** في حالة صور الفيلم قد يستغرق ساعات أو أيامنا للمعالجة ، بينما في حالة الصور الرقمية تكاد تكون معالجة فورية.
- **التكلفة Cost:** في الوقت الحاضر، كل من الكاميراتالرقمية ووحدات عرض النسخة الإلكترونية تكلف أكثر من كاميرات الأفلام، لكنها آخذة في التناقص بسرعة في السعر، ومع ذلك فإن الكاميرات الرقمية تلغي تكلفة شراء الفيلم وتحميضه.
- **الآثار البيئية Environmental Effects:** يستخدم في معالجة الفيلم مجموعة من المواد الكيميائية من أجل التحميض ، وهي مواد شديدة السمية، علي العكس من معالجة البيانات الرقمية التي لا تستخدم فيها أي مواد كيميائية سامة.

٢,٨: تصنيف كاميرات التصوير الجوى حسب زاوية الرؤية.

تصنف كاميرات التصوير الجوى عادة على أساس زاوية مجال الرؤية field of view ، ونعنى بذلك تلك الزاوية المحصورة بين العقدة الخلفية

لعدسة التصوير وطرفى الفيلم (شكل ٦-٥). ويمكن حسابها من العلاقة التالية:



شكل ٦-٥: طريقة حساب زاوية مجال الرؤية.

$$\alpha = 2\tan^{-1} \sqrt{(t_1^2 + t_2^2)} / 2f$$

حيث أن α زاوية الرؤية ، t_1 و t_2 هما أبعاد الفيلم ، f البعد البؤرى لكاميرا التصوير. فإذا كان البعد البؤرى لكاميرا التصوير ٦ بوصة وأبعاد فيلم التصوير ٩ x ٩ بوصة فإن زاوية الرؤية $\alpha = 2\tan^{-1} \sqrt{(9^2+9^2)} / 2x6 = 12.72 / 12 = 1.06$

٢ x inv. tan ٩٣,٣ = درجة وهى زاوية رؤية متسعة. ويمكن تصنيف كاميرات التصوير الجوى تبعا لزاوية الرؤية على النحو التالى:

١,٢,٥: كاميرات الرؤية العادية normal angle camera يتراوح فيها حقل الرؤية بين ٦٠-٧٥ درجة ، كما يتراوح بعدها البؤرى بين ١٧٠-٣٠٥ مم. ويمكن لهذه الكاميرات أن تنتج صورا جوية بأبعاد مختلفة هى ١٤٠ x ١٤٠ مم ، ١٨٠ x ١٨٠ مم ، ٢٣٠ x ٢٣٠ مم. ويستخدم هذا النوع عادة من الكاميرات عندما لا يتجاوز فرق الارتفاع فى تضاريس المنطقة المصورة عن ١٠% من ارتفاع الطيران.

٢,٢,٥: كاميرات واسعة المجال wide angle camera يتراوح فيها مجال الرؤية بين ٧٥-١٠٠ درجة ، كما يتراوح بعدها البؤرى بين ١٠-١٥٢ مم. وينتج عن استعمال هذه الكاميرات صورا جوية بنفس الأبعاد السابقة ، غير أنها تستعمل عندما يتراوح فارق ارتفاع السطح بين ٣-١٥% من ارتفاع الطيران.

٣,٢,٥: كاميرات التصوير ذات مجال الرؤية المنفرج أو الواسع جداSuper wide angle camera ، ويتراوح فيها مجال الرؤية بين ١٢٠-١٣٠ درجة ، أما البعد البؤرى فيتراوح بين ٥٥-٨٨,٥ مم. ويستخدم هذا النوع من الكاميرات فى حالة فروق الارتفاع التى لا تتجاوز ٥% من ارتفاع الطيران.

٦: أفلام التصوير الجوى.

تشبه أفلام التصوير الجوى تلك الأفلام المتداولة فى كاميرات التصوير العادية ، غير أن الأولى تأتى ملفوفة على أسطوانات. ويصل عرض فيلم

التصوير الجوى عادة ٢٥ سم ويتراوح طوله بين ٦٠ إلى ١٥٠ مترا. ويمكن تصنيف هذه الأفلام على النحو التالى:

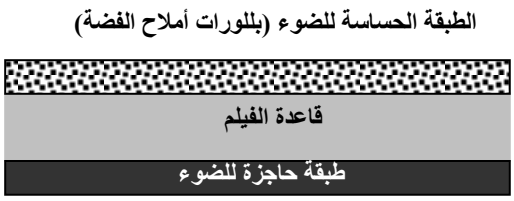
١,٦: الأفلام الأبيض والأسود (بانكروماتيك) Panchromatic.

أفلام الأبيض والأسود هى الأكثر شيوعاً فى عمليات التصوير الجوى على الإطلاق حتى الوقت الراهن. وتتكون هذه الأفلام من طبقة حساسة للضوء تمثلها بللورات أملاح الفضة مثل البرومايد والكلورايد والهاليد تغطيها طبقة من الجيلاتين المثبت على شريط من البلاستيك (شكل 6-٦). وقد يستخدم فيها مرشح (فلتر) لامتصاص الموجات القصيرة الناتجة عن تأثير الضباب الموجود فى الجو. وعندما يتعرض هذا الشريط للضوء فإنه يحدث تفاعلاً كيميائياً بين جزيئات الفضة ينتج عنه الصورة الجوية بدرجات اللون الرمادية. وتعد أملاح الفضة شديدة الحساسية للجزء المرئى من الضوء (٠,٤-٠,٧ ميكرومتر). ويستخدم هذا النوع من الصور فى إنشاء الخرائط الطبوغرافية وعمل زوجيات الصور وكذلك الصور العمودية.

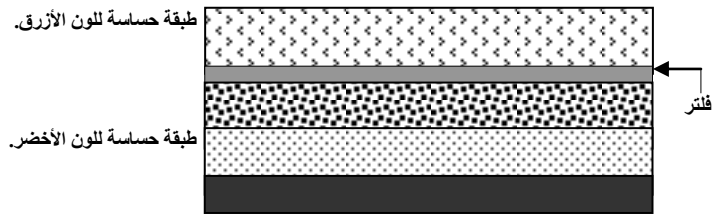
٢,٦: أفلام الألوان الحقيقية True color films.

وهى أفلام ملونة عادية تتكون من عدة طبقات من الجيلاتين المزود بصبغات شديدة الحساسية للجزء المرئى من الضوء وهو الأزرق (٠,٤-٠,٥ ميكرومتر) والأخضر (٠,٥-٠,٦ ميكرومتر) والأحمر (٠,٦-٠,٧

ميكرومتر) (شكل ٦-٧). وعندما يمرالضوء الأزرق عبر الطبقة الأولى فإنه يتفاعل معها ومن ثم يمر إلى طبقة عازلة مرشحة أخرى (فلتر) للضوء الأزرق بحيث تعمل على حجب الضوء الأزرق من المرور إلى الطبقات السفلى. أما الأشعة الخضراء والحمراء فيمكنها المرور لتحدث تفاعلاً مع الطبقات الأخرى مما يتيح إمكانية ظهور الصورة بالألوان الحقيقية أو الصحيحة. وتستخدم منتجات هذا النوع من الأفلام فى إنشاء الخرائط البلانيميترية والطبوغرافية ولكن بنسبة تقل عن الصور البانكروماتية سالفة الذكر ، كما تستخدم فى الدراسات الزراعية فى متابعة نمو المحاصيل وكذلك فى عمليات المسح الجيولوجى.



شكل ٦-٦: قطاع رأسى فى فيلم أبيض وأسود (بانكروماتى).



شكل ٦-٧: قطاع رأسى فى فيلم حقيقى الألوان.

٣,٦: الأفلام الحساسة للأشعة تحت الحمراء.

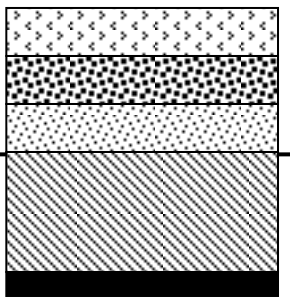
تستخدم هذه الأفلام فى تسجيل الإشعاع الحرارى المنبعث من أجسام ظاهرات السطح. وتضم هذه الأفلام نوعين رئيسيين هما:

١,٣,٦: أفلام الأبيض والأسود الحساسة للأشعة تحت الحمراء.

هذا النوع من الأفلام شديد الحساسية للضوء الأخضر والأحمر وكذلك لجزء من الأشعة تحت الحمراء القريبة (٠,٧-١,٠ ميكرومتر) ، والتى ينتج عن تفاعلها جميعاً صورة بدرجات اللونين الأبيض والأسود. وهى تشبه الصور البانكروماتية سالفة الذكر. غير أن الاجسام المائية وكذلك الغطاء النباتى الكثيف يبدو هنا داكناً للغاية عن الصور البانكروماتية العادية. وتركيب الفيلم يشبه كذلك تركيب أفلام البانكروماتيك بإستثناء الطبقة الحساسة للضوء الأزرق إذ تستبدل بأخرى حساسة للأشعة تحت الحمراء القريبة. وتستخدم هذه الصور عادة فى دراسة الغطاء النباتى والأجسام المائية ، لكن قلت أهميتها كثيراً بعد ظهور أفلام الأشعة تحت الحمراء الملونة.

٢,٣,٦: الأفلام كاذبة الألوان False color films.

يعرف هذا النوع بالأفلام الملونة الحساسة للأشعة تحت الحمراء القريبة



أيضاً. ويتكون الفيلم من عدة طبقات حساسة للضوء الأخضر والأحمر وجزء من الأشعة تحت الحمراء القريبة (شكل ٦-٨). وينتج عنه صورا كاذبة الألوان حيث يبدو النبات فيها باللون الأحمر أو الوردى على سبيل المثال. فالنبات بعد إتمام عملية البناء الضوئى يتخذ عادة عدة ألوان تعكس حالتة الصحية ، ومن ثم يبدو النبات السليم عادة باللون الأحمر بينما يبدو النبات المصاب بدرجات متفاوتة من اللون الوردى. وبالمثل تتدرج ألوان المياه فى الصور كاذبة الألوان بين الأزرق الفاتح والأخضر أو الأزرق الداكن والأسود ، ويتوقف هذا بصورة رئيسية على ما تحتويه المياه من مواد عالقة كالرواسب والبكتيريا. فكلما زادت نسبة إحتواء المياه للعضويات والرواسب كلما ظهرت المياه على الصورة بألوان فاتحة ، بينما فى المقابل تبدو المياه الصافية سوداء تقريباً إذ أنها تمتص الأشعة تحت الحمراء القريبة تماماً.

شكل ٦-٨: قطاع رأسى فى فيلم زائف الألوان.

كما تستخدم الأفلام الحساسة للأشعة تحت الحمراء بوجه عام فى دراسة درجة حرارة ظاهرات سطح الأرض ، وذلك بتسجيل الإشعاع الحرارى

المنبعث من الظاهرة فى مجال الأشعة تحت الحمراء الحرارية Thermal Infrared (TIR). ويتم تسجيل هذه الأشعة بواسطة ماسحات ضوئية حرارية thermal scanners تعمل على تسجيل الطاقة الحرارية المنبعثة من أجسام الظاهرات بعد تحويلها إلى ذبذبات ضوئية يتم من خلالها تمثيل شدة الضوء على الصورة النهائية.

بوجه عام يتوقف نوع الفيلم المستخدم فى عملية التصوير الجوى على طبيعة الظاهرة المراد دراستها والهدف من عملية التصوير ذاتها. فأفلام البانكروماتيك واسعة الاستعمال فى إعداد الخرائط والصور العمودية ، بينما يفضل استخدام أفلام الألوان الحقيقة فى تصنيف المحاصيل الزراعية وعمليات المسح الجيولوجى. أما أفلام الأشعة تحت الحرارية فتستخدم بصفة عامة فى تسجيل الطاقة الحرارية المنبعثة من ظاهرات السطح وبعض الأغراض الخاصة مثل تلوث المياه وحالة النبات. ويوضح شكل ٦-٩ مقارنة بين منتجات أفلام التصوير الجوى.

٧: معالجة أفلام التصوير الجوى.

يتم تحميض ومعالجة أفلام التصوير الجوى بعناية شديدة فى معامل مخصصة لذلك ووفقاً للإرشادات المدونة على أفلام التصوير. وخلال عملية المعالجة لا ينبغى جذب الفيلم من عند الأطراف أو لمسه باليد أو تعريضه للأتربة أو أى مواد كيميائية من شأنها أن تتلف الفيلم أو تؤثر على جودة الصور. ويجب أن تكون الصور التى يتم معالجتها على درجة عالية من الوضوح وخالية من السحب والظلال والأدخنة والزيغان. كما يجب وأن تكون الصور بحالة جيدة غير ممزقة أو مطوية وغير ذلك من الأمور التى

تقلل من جودتها. عموماً تتوقف جودة الفيلم على خصائصه الراديومترية والتى تشير إلى قدرته على تمييز شدة الأشعة الساقطة عليه ونفاذيتها من خلال الفيلم. ويمكن حصر الخصائص الراديومترية لأفلام التصوير الجوى الأبيض والأسود على النحو التالى :

١,٧: الشفافية Transmittance.

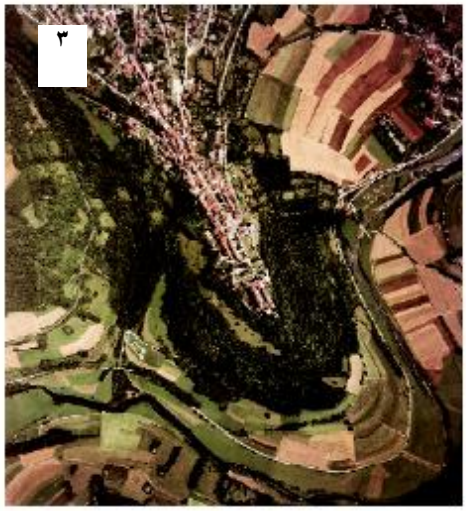
تشير الشفافية T_{ij} إلى قدرة جزء ما من فيلم التصوير على مرور الضوء من خلاله. فالجزء الأسود من الفيلم قد لا يسمح بنفاذ الضوء بالمرة ، بينما على النقيض قد يسمح الجزء الشفاف من الفيلم بنفاذ كمية الضوء الساقطة عليه كلية بنسبة ١٠٠%. وتحسب الشفافية عند أى موقع فى فيلم التصوير من خلال العلاقة التالية:

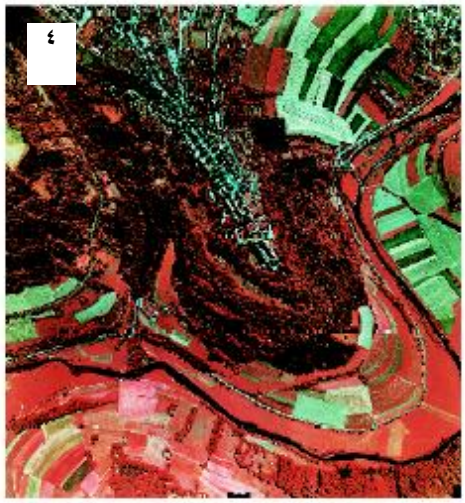
T_{ij}= الضوء المار عبر الفيلم / إجمالى كمية الضوء الساقطة عليه.

فإذا فرضنا أن كمية الضوء المارة خلال الفيلم تساوى ١٠% ، فإن الشفافية تساوى ١٠/١٠٠ أى ٠,١. وإذا كانت كمية الضوء المارة خلال الفيلم تساوى ٢٠% فإن الشفافية تساوى ٢٠/١٠٠ أى ٠,٢ وهكذا.

١

٢


٣


٤

شكل ٦-٩: مقارنة بين منتجات أفلام التصوير الجوى. ١. بانكروماتيك ، ٢. أبيض وأسود (تحت الحمراء) ، ٣. ألوان حقيقية ، ٤. كاذبة الألوان (تحت حمراء).

٢,٧: اللاشفافية Opacity.

هناك علاقة عكسية إذن بين الشفافية T_{ij} واللاشفافية O_{ij} الخاصة بأفلام التصوير الجوى. فالأجزاء غير الشفافة opaque من الفيلم لا تسمح بنفاذ الضوء من خلالها ، ولذلك يتم حساب اللاشفافية بدلالة مقلوب المعادلة السابقة:

$$O_{ij} = ١ / T_{ij}$$

جدول ٦-٢: العلاقة بين الشفافية واللاشفافية والكثافة.

نسبة الضوء المارة %	الشفافية T_{ij}	اللاشفافية O_{ij}
١٠٠	١	١
٥٠	٠,٥٠	٢

٢٥	٠,٢٥	٤
١٠	٠,١٠	١٠
١,٠	٠,٠١	١٠٠
٠,١	٠,٠٠١	١٠٠٠

عموماً هناك عدة اعتبارات أخرى خاصة يجب أخذها فى الحسبان عند معالجة أفلام التصوير الجوى منها:

- المحافظة على أبعاد الفيلم أثناء المعالجة وذلك بعدم جذب الفيلم من عند الأطراف أو تعرضه لأثر الظروف الجوية مثل الرطوبة ودرجات الحرارة. وعادة ما يتم تغطية الأفلام بمادة من البوليستر بحيث تمنع تمدد الفيلم بفعل العوامل الجوية حتى أن التغير فى أبعاد الفيلم لا يزيد فى المتوسط عن ٣ ميكرون.
- لا يتم التصوير مباشرة على الفيلم وإنما يترك حوالى ١٠٠ سنتيمترا فى أول الفيلم وأخرى قرب نهايته كى تكون بمثابة بداية ونهاية leader and trailer لفيلم التصوير. وذلك لتجنب تلف صور الأطراف فى الفيلم إذ غالباً من تتعرض أطراف الفيلم للتلف سواء أثناء تركيب الفيلم وتثبيته داخل مخزن الفيلم أو أثناء فكه داخل معامل التحميض.
- يتم حفظ ومعالجة الأفلام التى صورت بنظام تصوير واحد مع بعضها البعض. على أن يدون عليها اسم المشروع ونوع الكاميرا والبعد البؤرى وغيرها من البيانات الهامة لمعالجة الصور.

الفصل الثالث: أنواع الصور الجوية ومحتوياتها وخصائصها الهندسية

٨: أنواع الصور الجوية.

تصنف الصور الجوية بوجه عام تبعاً لوضع محور كاميرا التصوير فيما لو كانت رأسية أو مائلة على النحو التالى:

١,٨: صور رأسية Vertical aerial photos.

يلتقط هذا النوع من الصور عندما يكون محور عدسة التصوير رأسى تماماً. غير أن هذه الحالة نادرة الوجود فى الصور الجوية إذ أن هناك عوامل عديدة تحد من قدرة الطائرة على إلتقاط صور رأسية تماماً. ولذلك فإن الصور الجوية الرأسية عادة ما تعانى من وجود ميول خفيفة تتراوح بين ١ إلى ٣ درجات على الأكثر ، مما يجعلها ملائمة لأعمال المساحة الأرضية وإنتاج الخرائط ، حيث تكون الصورة أقرب ما يكون إلى المستوى الأفقى. غير أن قراءة وتفسير الصور الرأسية يحتاج إلى تدريب إذ ان رؤية الظاهرات من أعلى والتعرف عليها ليست بالعملية المألوفة أو البسيطة للبعض.

٢,٨: الصور خفيفة الميل Low tilted aerial photos.

تقوم الطائرة فى بعض الأحيان بالتقاط صورا جوية ومحور كاميرا التصوير مائلا بزاوية معينة بالنسبة للاتجاه الرأسى أثناء عملية التصوير. وتصنف الصور الجوية بوجه عام على أنها خفيفة الميل عندما يزيد الميل عن الوضع الرأسى لأكثر من ثلاثة درجات بشرط ألا يظهر خط الأفق (خط تقابل الأرض مع السماء) فى الصورة. ويحدث الميل عادة إما نتيجة لأسباب خارجة عن إرادة القائمين على عملية التصوير كتلك التى تتعلق بظروف

الطيران أو ارتفاع السطح ، أو قد يكون الميل عن قصد بهدف الحصول على تغطية أكبر من سطح الأرض.

٣,٨: الصور الجوية شديدة الميل High oblique aerial photos.

تعرف الصور الجوية على أنها شديدة الميل عندما يظهر فيها خط الأفق (شكل ٦-١١). وقد شاع استخدام هذا النوع من الصور الجوية أثناء الحرب العالمية الثانية على وجه التحديد بهدف التجسس والاستكشاف العسكرى لمساحة كبيرة من السطح دون الحاجة للطيران فوق معسكرات القوات المعادية. ويمتاز هذا النوع من الصور الجوية عن غيره فى إمكانية التعرف على ظاهرات الصورة بسهولة ويسر ، إذ تظهر عادة الظاهرات بمقطع (بروفيل) علوى – جانبى وهو مألوف للأشخاص العاديين ، ومن ثم فإن تفسير هذا النوع من الصور لا يتطلب جهدا كبيرا أو خبرات خاصة فى التعرف على ظاهرات السطح كما هو الحال فى الصور الرأسية. غير أن أهم عيوبها أنه لا يمكن القياس منها ، أضف على هذا أن بعض ظاهرات الصورة قد تخفى وراءها ظاهرات أخرى نتيجة للميل الشديد للطائرة.

٩: محتويات الصورة الجوية.

تتكون الصور الجوية العادية (الأبيض ، والأسود) عبارة عن قطعة من الورق الحساسة بأبعاد ٢٣سم *٢٣ سم ، مطبوع عليها ظلال تتدرج بين اللونين الأبيض والأسود. تلكك الظلال تمثل إختلافات تفاعل ظاهرات سطح الأرض مع الآشعة الشمسية التي يتم تسجيلها بواسطة الفيلم الحساس

المصور من الطائرة، ويحرص القائمون بعملية التصوير علي إظهار بعض البيانات علي هوامش الصور الجوية وإطارها تفيد في المقام الأول مستخدم الصور في عملية تفسيره لها . وتزود كاميرات التصوير الجوى بموصل باعث للضوء light emitting diode يعمل على ظهور بعض البيانات المساعدة على فهم وتفسير الصور الجوية على الإطار الخارجى المحيط بالصورة الجوية كما يتضح من شكل (٦-١٢). وفيما يلى عرض موجز لهذه البيانات:

١- رقم خط الطيران داخل المشروع

٢- رقم الصورة داخل خط الطيران.

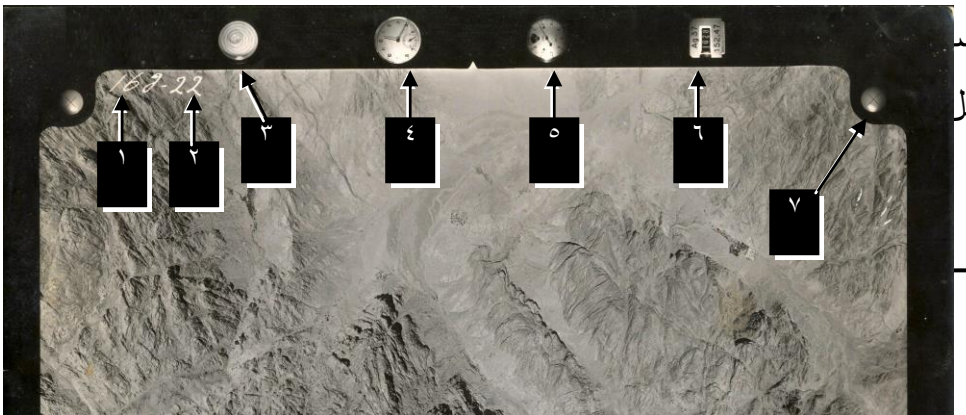
٣. ميزان تسوية Bubble level : وهو عبارة عن خمس دوائر متحدة المركز وتقيس لأقرب نصف درجة ، تظهر بداخلها فقاعة هوائية (ميزان المياه) لتوضيح مدي أفقية الطائرة ووقت التصوير . ويفيد ظهور ميزان التسوية في تحديد درجة وإتجاه ميل الطائرة . فمن المعروف أنه إذا قل الميل عن ثلاث درجات يمكن معاملة الصور الجوية علي أنها صور رأسية أما إذا زاد عن ذلم تعتبر الصور مائلة ويجب أخذ بياناتها ببعض الحذر وتحتاج لتعديل وتصحيح ، ولذلك فهي تستخدم لبيان مدى أفقية الطائرة وقت التصوير (شكل٦-١٣أ).

٤. ساعة لبيان زمن التصوير: هي عبارة عن تدريج ساعة توضح وقت التصوير بالساعة والدقيقة. ويتم الإستفادة منه في التعرف علي كمية الظل المتوقع ظهوره فيها لإختلاف درجة ميل أشعة الشمس بإختلاف أوقات النهار

والمعروف أن الظل له أهمية عند دراسة الإزاحة التضاريسية وفرق الابتعاد في داخل الصور مما يفيد في تقدير الإرتفاع أو درجة الإزاحة ، فإذا كان الظل باتجاه الرصد نري المعالم مجسمة وإذا حدث العكس تظهر المعالم معكوسة فالجبال منخفضة والوديان مرتفعة (شكل ٦-١٣ب).

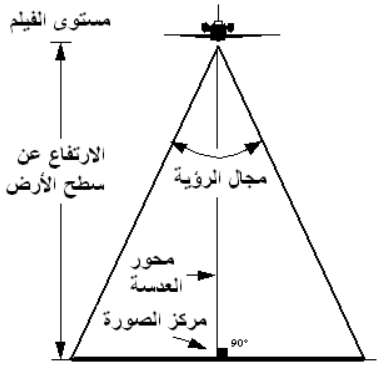
٥. جهاز التيمتر Altimeter لبيان ارتفاع الطيران. ويظهر جهاز الالتيمتر فى شكل دائرة تشبه الساعة اليدوية ، غير أن هذه الدائرة مقسمة إلى عشرة أجزاء فقط ، حيث يمثل كل جزء منها مائة متر. ويوجد فى أعلاه مثلث يوضح ارتفاع الطائرة بالكيلومترات الصحيحة ، أما أجزائها فيمكن معرفتها بدلالة المؤشرات الموجودة داخل الجهاز كما يتضح من شكل ٦-١٣ج.

٦. عداد رقمى يحتوى يتضمن بيانات أخرى هامة هى من اليسار إلى اليمين كالتالى: نوع الكاميرا المستخدمة فى التصوير ، مسلسل الصورة داخل فيلم التصوير ، البعد البؤرى لكاميرا التصوير . وهو عبارة عن مستطيل صغير مقسم إلي ثلاثة نطاقات في كل منها رقم، يدل الأول علي رقم الكاميرا ونوعها لما لذلك من دلالة علي مدي دقة الكاميرا وسنوات معايرتها وذلك عند إستخدام الصور في صنع الخرائط، أما الرقم الثاني فيدل علي مسلسل الصور داخل الفيلم مما يفيد في التعرف علي ترتيبها بين الصور داخل الفيلم مما يفيد في التعرف علي ترتيبها بين الصور داخل الفيلم الواحد وعند ترقيمها داخل خط الطيران ، والرقم الثالث يمثل البعد البؤري لعدسة التصـ

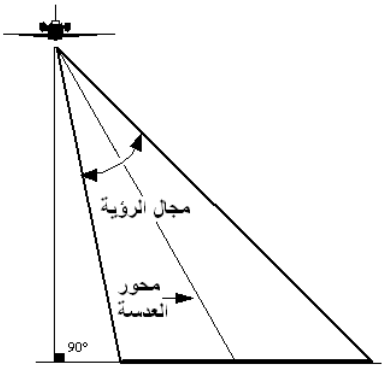


(شكل

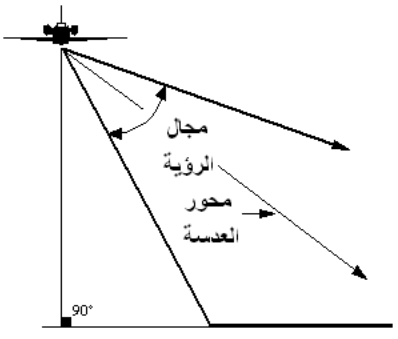
شكل ٦-١١: تصنيف الصور الجوية حسب وضع محور كاميرا التصوير.



أ. صورة رأسية.



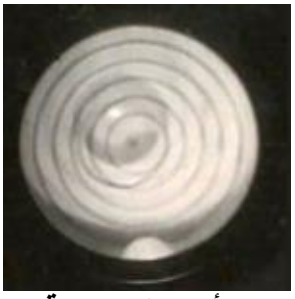
ب. صورة خفيفة الميل لا يظهر فيها خط الأفق.



ج. صورة شديدة الميل يظهر فيها خط الأفق.

شكل ٦-١٢: محتويات الصورة الجوية.

٧. علامات الإسناد fiducial Marks وتضم الصورة الجوية عادة ما يتراوح بين ٤ -٨ علامة من علامات الإسناد. وتظهر علامات الإسناد إما فى شكل دوائر بداخلها علامة x عند أركان الصورة الأربعة ، أو فى شكل فتحة مثلثة تنصف إطارات الصورة الأربعة. وتفيد علاما الإسناد فى تحديد مركز الصورة ، ففى الصور الرأسية يفترض أن تتعامد كل علامتين متقابلتين بزاوية قائمة ، على أن هذا التعامد يكون عند مركز الصورة مباشرة (شكل ٦-١٤). وفى حالة الصور الجوية الرأسية يتفق كل من مركز الصورة مع نقطة النظير Nadir point. ونقطة النظير هى النقطة التى يلتقى عندها محور العدسة مع سطح الأرض.



أ. جهاز تسوية.

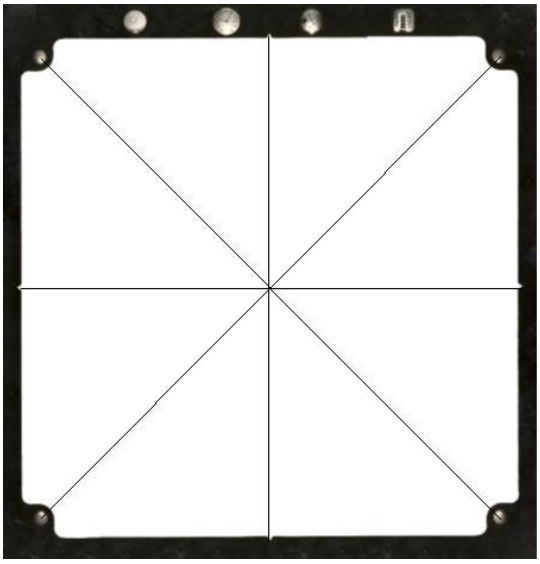
ب. ساعة توضح زمن التصوير.

ج. ألتيمتر لبيان ارتفاع الطيران وقت التصوير.

د. عداد رقمى يوضح من اليسار إلى اليمين نوع الكاميرا Ag37 ، ورقم

الصورة داخل الفيلم ١٠٢٨، والبعد البؤرى ١٥٢,٤٧ مم.

شكل ٦-١٣: تفاصيل بعض محتويات الصورة الجوية.

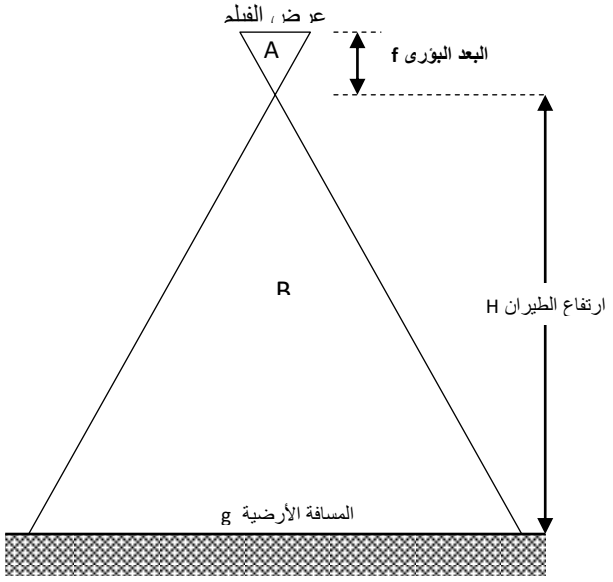


شكل ٦-١٤: تحديد مركز الصورة بدلالة علامات الإسناد.

١٠: الخصائص الهندسية للصور الجوية.

١,١٠: مقياس رسم الصور الجوية الرأسية.

مقياس رسم الصورة هو النسبة بين طول أى خط فى الصورة ونظيره على سطح الأرض ، وتختلف هذه النسبة باختلاف منسوب أو ارتفاع كل نقطة على السطح. كما يتوقف مقياس رسم الصورة كذلك على ارتفاع الطيران وطول البعد البؤرى لكاميرا التصوير. ويوضح شكل ٦-١٥ الأبعاد الهندسية لعملية التصوير الجوى بوجه عام ، حيث نلاحظ وجود مثلثين متناسبين متناظرين هما A و B. كما يتناسب عرض فيلم التصوير n مع عرض المسافة الأرضية g و التى يفترض أن تغطيها الصورة الجوية. وبالمثل فإن البعد البؤرى لكاميرا التصوير f يتناسب مع ارتفاع الطيران H فوق متوسط منسوب سطح الأرض.



شكل ٦-١٥: الأبعاد الهندسية لعملية التصوير الجوى.

١,١,١٠: حساب مقياس رسم الصورة بدلالة عرض فيلم التصوير والمنطقة المصورة.

ويمكن بدلالة المعطيات التى أوضحناها سلفاً حساب مقياس رسم الصورة الجوية S_p من خلال العلاقة التالية:

$$S_p = n / g$$

فإذا فرضنا أن n أو عرض فيلم التصوير يساوى ١٠ بوصات و g أو عرض المسافة المصورة من الأرض تساوى ١٥٠ قدم ، فإن مقياس الرسم الهندسى للصورة يساوى ١٥٠/١٠ أى ١ بوصة /١٥ قدم.

٢,١,١٠: حساب مقياس رسم الصورة بدلالة البعد البؤرى وارتفاع الطائرة.

كما يمكن حساب مقياس رسم الصورة من خلال العلاقة بين البعد البؤرى focal length لكاميرا التصوير وارتفاع الطائرة فوق متوسط منسوب سطح الأرض من خلال العلاقة التالية:

$$S_p = f / H$$

فإذا فرضنا أن كاميرا تصوير ذات بعد بؤرى ٦ بوصات محمولة على ارتفاع ١٢٠٠ قدم فوق متوسط منسوب سطح الأرض ، فإن مقياس رسم الصورة الناتجة يساوى: ٦ بوصة / ١٢٠٠ قدم أو ١بوصة /٢٠٠ قدم.

أما مقياس الرسم النسبى فيتم حسابه بتحويل وحدات القياس ، ويفضل عادة تحويل الوحدات الصغرى إلى الوحدات الأكبر. ففى المثال السابق يتم تحويل ٦ بوصات إلى القدم وذلك بقسمة ٦ على ١٢ (حيث أن واحد قدم يساوى ١٢ بوصة) يكون الناتج ٠,٥. ومن ثم فإن مقياس الرسم النسبى للصورة السابقة = ٠,٥ قدم/١٢٠٠ قدم أو ١: ٢٤٠٠,

٣,١,١٠: حساب مقياس رسم الصورة عند نقطة.

إن مقياس رسم الصورة الجوية الرأسية فى واقع الأمر ليس ثابتاً فى كل أنحاء الصورة ، وإنما يتفاوت من نقطة لأخرى على الصورة تبعاً لعدة عوامل– سيرد ذكرها لاحقاً- أهمها الإسقاط المركزى لعدسة كاميرا التصوير وتباين ارتفاع سطح الأرض. و يحسب مقياس رسم الصورة عند أى نقطة من خلال العلاقة التالية:

$$S_p = f / H-h$$

حيث أن h تمثل ارتفاع النقطة المراد حساب مقياس رسم الصورة عندها. لذلك عادة ما يؤخذ مقياس رسم متوسط للمنطقة المصورة وذلك بحساب منسوب متوسط للمنطقة. فإذا فرضنا أن صورة رأسية أخذت بعدسة تصوير

بعدها البؤرى ٨٥ مم من ارتفاع ٢٠٠٠ متر فوق سطح البحر ، فإن مقياس رسم الصورة عند نقطة منسوبها ١٢٥ متر = البعد البؤرى / (ارتفاع الطيران – منسوب النقطة) = (٨٥ مم / ١٠(للتحويل إلى سم)) / (٢٠٠٠-١٢٥) = ٨,٥ / ١٨٧٥ x ١٠٠ (للتحويل إلى سم) = ١: ٢٢٠٥٨. ويكون مقياس رسم الصورة عند نقطة منسوبها ٢٥٠ متر يساوى ٨,٥/(٢٠٠٠-٢٥٠) x ١٠٠ = ١: ٢٠٥٨٨.

ويتم حساب مقياس الرسم المتوسط باستخراج متوسط عام للمنطقة المصورة وذلك بحساب المتوسط الحسابى لمناسيب الارتفاع. فإذا فرضنا أن صورة جوية أخذت من ارتفاع طيران ٤٢٠٠ متر لأرض يتراوح منسوبها بين ٢٠٠ ، ٤٠٠ ، ٦٠٠ متر وكان البعد البؤرى لعدسة التصوير ٢٠ سم ، فإن متوسط منسوب سطح الأرض = (٢٠٠+٤٠٠+٦٠٠) /٣ = ٤٠٠ متر. ومن ثم فإن مقياس الرسم المتوسط = البعد البؤرى / ارتفاع الطيران - متوسط منسوب السطح = ٢٠ / (٤٢٠٠-٤٠٠) x ١٠٠ = ١: ١٩٠٠٠.

كما يستفاد من معادلة حساب مقياس الرسم عند نقطة معينة فى تحديد أكبر وأصغر مقياس رسم للصورة الجوية ، وذلك بمعرفة أعلى وأدنى منسوب لسطح الأرض فى الصورة الجوية منسوباً إلى مستوى سطح البحر. فإذا فرضنا أن صورة جوية رأسية تتفاوت فيها مناسيب السطح بين ١٠٠٠ – ٢٠٠٠ قدم فوق منسوب سطح البحر. بعدسة تصوير بعدها البؤرى ٦ بوصة ومن ارتفاع طيران ١٠,٠٠٠ قدم ، فإن أكبر مقياس رسم للصورة = (٦ بوصة / ١٢ (لتحويل البوصات إلى أقدام)) /١٠,٠٠٠-٢٠٠٠ قدم = ١:١٦٠٠٠. وبالمثل يمكن حساب أصغر مقياس للصورة (٦ بوصة / ١٢)

/١٠,٠٠٠-١٠٠٠ = ١:١٨٠٠٠. ويمكن حساب مقياس الرسم المتوسط مباشرة من خلال الوسط الحسابى بين أكبر وأصغر مقياس رسم كالتالى (١٨٠٠٠ + ١٦٠٠٠) / ٢ = ١٧٠٠٠,

٤,١,١٠: حساب مقياس رسم الصورة بدلالة مقياس رسم خريطة طبوغرافية.

يمكن حساب مقياس رسم الصورة الجوية كذلك عن طرق معرفة المسافة بين أى نقطتين على خريطة معلومة المقياس. فإذا فرضنا أن المسافة بين نقطتين أ ، ب على صورة جوية رأسية هى ٥,٩٢٥ سم ، وقد قيست نفس المسافة بين النقطتين من خريطة طبوغرافية بمقياس رسم ١: ١٥٠٠٠ فكانت ٣,٩٥ سم. فإن مقياس رسم الصورة يمكن حسابه طبقا للعلاقة التالية:

$$S_p/S_m = D_p/D_m$$

حيث أن S_p مقياس رسم الصورة الجوية ، و S_m مقام مقياس رسم الخريطة ، وD_p هى المسافة على الصورة الجوية ، و D_m المسافة على الخريطة. ومن ثم يمكن حساب مقياس رسم من العلاقة السابقة كالتالى:

$$S_p = D_p / S_m D_m$$

S_p = ٥,٩٢٥ / (٣,٩٥ x ١٥٠٠٠) = ١ :١٠٠٠٠,

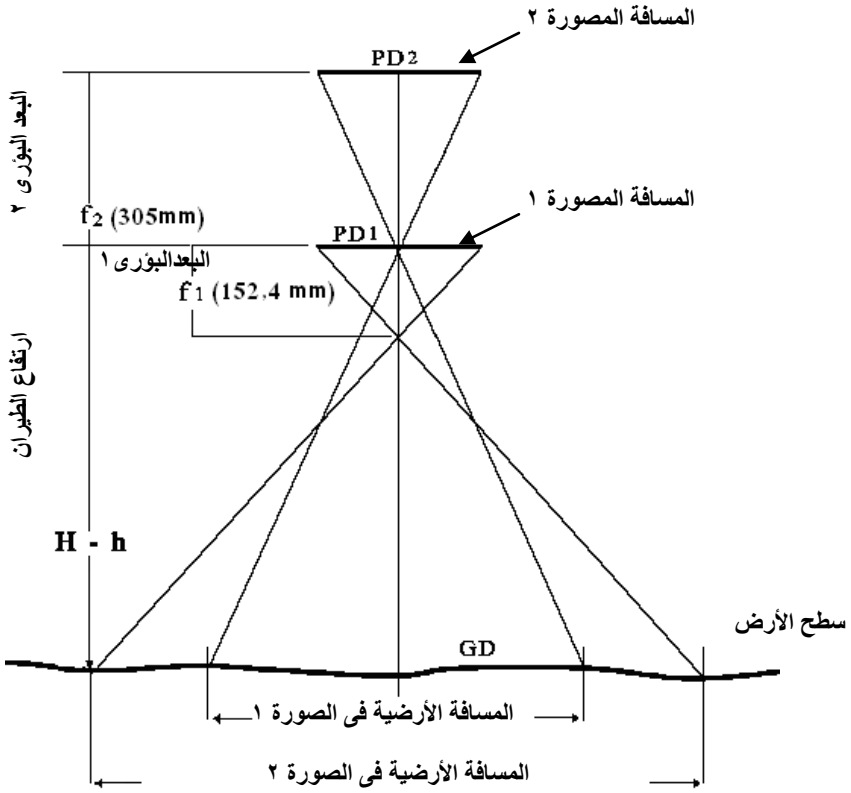
٢,١٠: العوامل المؤثرة فى مقياس رسم الصورة الجوية.

١,٢,١٠: البعد البؤرى.

يتوقف مقياس رسم الصورة الجوية بوجه عام على طول البعد البؤرى لكاميرا التصوير ، فكلما زاد البعد البؤرى كلما زاد مقياس رسم الصورة ، حيث تزداد النسبة بين البعد البؤرى وارتفاع الطيران أو بين المسافة المصورة Pd والمسافة الأرضية الفعلية Gd ويوضح شكل (٦-١٦) هذه العلاقة. فإذا فرضنا أن منطقة ما تم تصويرها من ارتفاع ثابت بكاميرا بعدها البؤرى ١٥٢,٤ مم (f1) ، ثم صورت مرة أخرى بكاميرا بعدها البؤرى ٣٠٥ مم (f2) من نفس الارتفاع ، فإن المسافة الأرضية التى تغطيها الصورة الثانية (f2) تساوى ضعف المسافة الأرضية التى تغطيها الصورة الأولى (f1) ، وبالتالى يكون مقياس رسمها أكبر مرتين من الصورة الأولى أيضا. ذلك حيث أن المسافة الأرضية تتناسب عكسيا مع البعد البؤرى ، فطول البعد البؤرى للصورة الثانية (f2) يساوى ضعف طول البعد البؤرى للصورة الأولى (f1) أى أن:

$$f2 = 2 \times f1$$

غير أنه يجب الانتباه إلى العلاقة بين تفاصيل الصورة أو مقياس الرسم والمساحة المصورة. فمقياس الرسم الكبير يُظهر تفاصيل أكثر لكن الصورة فى ذات الوقت تغطى مساحة أرضية أصغر. ومن ثم نجد أن المساحة التى تغطيها الصورة الثانية (f2) تساوى ربع المساحة التى تغطيها الصورة الأولى (f1).


المسافة المصورة ٢
PD2
البعد البؤرى ٢
f2 (305mm)
المسافة المصورة ١
PD1
البعدالبؤرى ١
f1 (152.4 mm)
ارتفاع الطيران
H - h
سطح الأرض
GD
المسافة الأرضية فى الصورة ١
المسافة الأرضية فى الصورة ٢

شكل ٦-١٦: تأثير اختلاف البعد البؤرى على مقياس الرسم والمساحة المصورة.

مثال: أخذت صورة جوية من كاميرا بعدها البؤرى (f_1) ١٥٢,٤ مم ، وأخرى بعدها البؤرى (f_2) ٣٠٥ مم من ارتفاع طيران ٣٠٠٠ م. أوجد مقياس رسم الصورة فى الحالتين ، وكذلك المساحة الأرضية التى تغطيها كل صورة إذا علمت أن أبعاد الصورة ٢٣ x ٢٣ سم. ثم أوجد المسافة على الصورة فى كلا الحالتين بين نقطتين إذا علمت أن المسافة الأرضية بينهما ١٣٥٠ متر؟

الحل: أولاً مقياس رسم الصورة عند f_1 = ١٥٢,٤مم /(٣٠٠٠م x ١٠٠٠مم)= ١: ١٩٦٨٥

ثانياً مقياس رسم الصورة عند f_2 = ٣٠٥مم /(٣٠٠٠م x ١٠٠٠مم)= ١: ٩٨٣٦

ثالثاً مساحة الصورة f_1 = أبعاد الصورة x مربع مقياس الرسم =

٢٠,٤٩ = (للتحويل إلى كم) ١٠٠٠٠٠٠/ (١٩٦٨٥)^{٢} x ٠,٢٣ x ٠,٢٣ كم^{٢}

رابعاً مساحة الصورة f_2 = ٠,٢٣ x ٠,٢٣ x (٩٨٣٦)^{٢} /١٠٠٠٠٠٠ = ٥,١١ كم^{٢}

خامساً المسافة بين النقطتين على الصورة f_1 = المسافة الأرضية / مقام مقياس الرسم

١٣٥٠ م x ١٠٠(للتحويل إلى سم)/١٩٦٨٥ =٦,٨٥ سم.

سادساً المسافة بين النقطتين على الصورة f_2 = ١٣٥٠ م x ١٠٠/٩٨٣٦ = ١٣,٧٢سم.

ونستنتج من هذا المثال أن البعد البؤرى للصورة f_2 يساوى ضعف البعد البؤرى للصورة f_1 ، ومن ثم فإن المسافة على الصورة f_2 وكذلك مقياس رسمها يساوى ضعف المسافة على الصورة f_1 ومقياس رسمها. غير أن مساحة الصورة f_2 تساوى ربع مساحة الصورة f_1.

٢,٢,١٠: ارتفاع الطيران.

من الطبيعى أن يؤثر ارتفاع الطيران كذلك فى مقياس رسم الصورة الجوية ، فالصورة المصورة من ارتفاعات شاهقة سيكون مقياس رسمها صغيراً ، حيث تقل العلاقة بين البعد البؤرى وارتفاع الطيران (H-h) أو بين المسافة المصورة (Pd) والمسافة الأرضية (Gd) الحقيقية التى تغطيها الصورة. ويظهر شكل ٦-١٧ أثر ارتفاع الطيران على مقياس رسم الصورة حيث

أخذت الصورتين P_1 وP_2 على الترتيب من ارتفاعين مختلفين ، ولذلك فإن أى مسافة أرضية Gd مشتركة تغطيها الصورتين ستشغل مسافة أصغر كما هو الحال فى المسافة Pd_2 على الصورة P_2 منها على الصورة P_1 كما يتضح عند Pd_1. فإذا كان ارتفاع الطيران فى الصورة P_2 يساوى ضعف ارتفاع الطيران فى الصورة P_1 ، أى أن (H_2-h) تساوى ٢(H_1-h) ، فإن المسافة الأرضية بين أى نقطتين معلومتين على الصورة الثانية P_2 تساوى نصف نفس المسافة على الصورة الأولى P_1 وكذلك الحال بالنسبة لمقياس الرسم. هذا على فرض ثبات البعد البؤرى لكاميرا التصوير. غير أن المساحة المصورة فى الصورة الثانية ستساوى أربعة أمثال المساحة المصور فى الصورة الأولى.

مثال: أخذت صورة جوية P1 لمنطقة من ارتفاع طيران ٢٠٠٠ متر ، ثم أخذت صورة أخرى P2 لنفس المنطقة من ارتفاع طيران ٤٠٠٠ متر. فإذا كان البعد البؤرى لعدسة التصوير المستخدمة فى التصوير ١٥٢,٤ مم. أوجد مقياس رسم الصورتين وأحسب المساحة الأرضية المصورة فى كلا منهما إذا علمت أن أبعاد الصورتين هى ٢٣ سم x ٢٣ سم؟

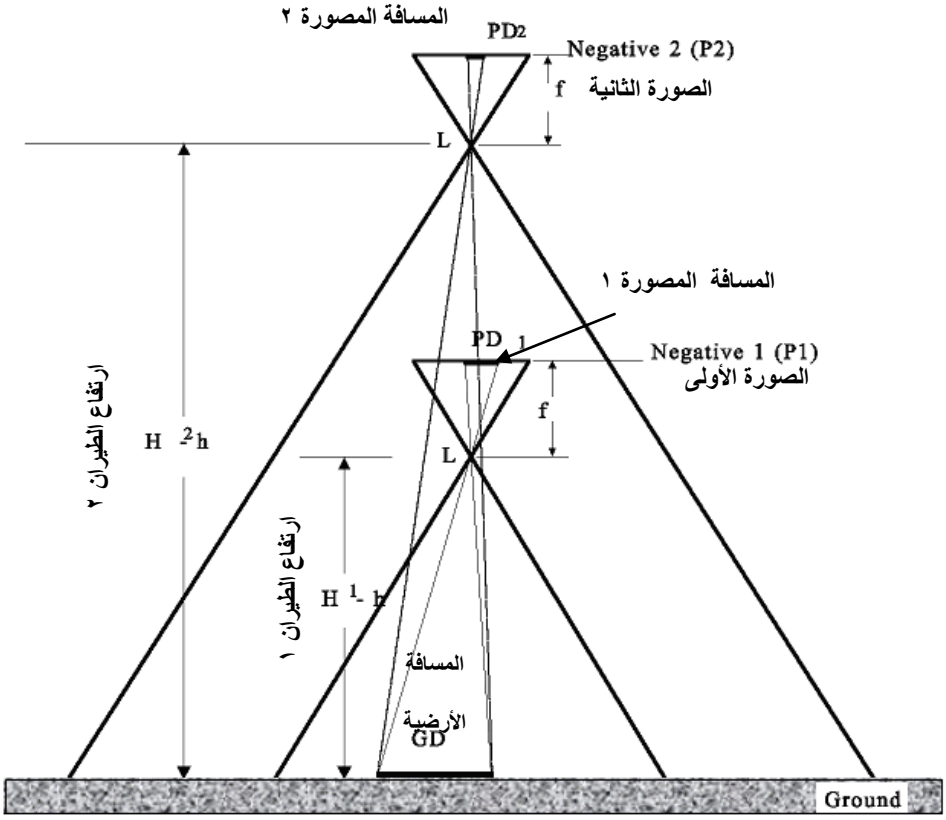
الحل: أولاً مقياس رسم الصورة $\mathbf{P_1}$ = ١٥٢,٤ / ٢٠٠٠ x ١٠٠٠= ١: ١٣١٢٣

ثانياً مقياس رسم الصورة $\mathbf{P_2}$ = ١٥٢,٤ / ٤٠٠٠ x ١٠٠٠= ١: ٢٦٢٤٦

ثالثاً المساحة المصورة $\mathbf{P_1}$ = ٠,٢٣ x ٠,٢٣ x (١٣١٢٣)^2 / ١٠٠٠,٠٠٠ = ٩,١ كم^2

رابعاً المساحة المصورة P_2 = ٠,٢٣ x ٠,٢٣ x (٢٦٢٤٦)^2 / ١٠٠٠,٠٠٠ = ٣٦,٤٤ كم^2

ونستنتج من هذا المثال أن مقياس رسم الصورة P_2 يساوى ضعف مقياس رسم الصورة P_1. ومن ثم فإن أى مسافة أرضية على الصورة P_2 تساوى نصف نفس المسافة على الصورة P_1 ، ذلك إذ أن ارتفاع الطيران فى



الصورة P_2 مساوياً لضعف ارتفاع الطيران فى الصورة P_1. كما نلاحظ أيضاً أن مساحة المنطقة التى تغطيها الصورة P_2 تساوى أربعة أمثال

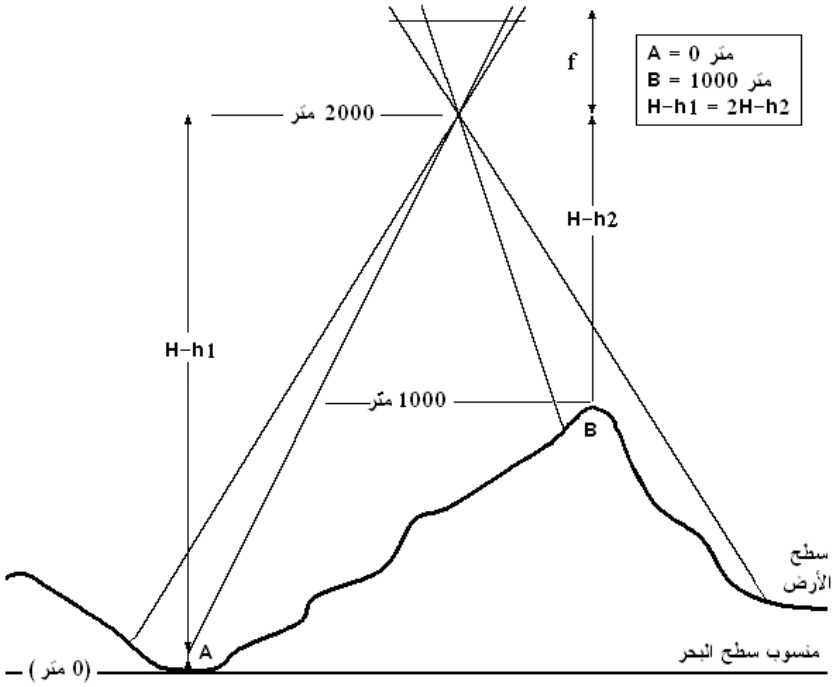
المساحة التى تغطيها الصورة P_1 (٩,١/٣٦,٤٤=٤/١) ، ومن ثم نستنتج أن الصورة P_1 تظهر تفاصيل أعلى من الصورة P_2.

شكل ٦-١٧: تأثير اختلاف ارتفاع الطيران على مقياس الرسم والمسافة الأرضية المصورة.

٣,٢,١٠: طبوغرافية السطح.

يؤثر ارتفاع السطح تاثيرا مباشرا فى اختلاف مقياس رسم الصورة الجوية نتيجة لاختلاف ارتفاع الطيران من نقطة لأخرى فوق سطح الأرض. والواقع أن ارتفاع الطيران (H) يكون ثابتا بالنسبة لمنسوب سطح البحر أو مستوى الإسناد ، لكن الارتفاع فوق منسوب سطح الأرض (H-h) يتفاوت نتيجة لتباين ارتفاع ظاهرات السطح من نقطة لأخرى. ونلاحظ من شكل ٦-١٨ أن الأراضى المرتفعة مثل قمم الجبال والحافات الجبلية والهضاب يكون مقياس رسمها كبير حيث تظهر على الصورة بوضوح على الصورة الجوية عنه فى الأراضى الواطئة مثل المنخفضات والسهول والوديان. فإذا فرضنا أن ارتفاع المنطقة المصورة يتراوح بين ٠-١٠٠٠ متر فوق منسوب سطح البحر وأن ارتفاع الطيران ٢٠٠٠ متر فوق منسوب سطح البحر كما عند النقطة A. فإن ارتفاع الطائرة فوق الأراضى المنخفضة التى منسوب سطحها صفر سيكون ٢٠٠٠ متر ، بينما الأراضى التى منسوب سطحها ١٠٠٠ سيكون ارتفاع الطيران فوقها ١٠٠٠ مترا فقط كما عند النقطة B.

أى أن ارتفاع الطيران فوق الأرضى المنخفضة فى هذه الحالة يساوى ضعف ارتفاع الطيران فوق الأراضى المرتفعة.



شكل ٦-١٨: تأثير اختلاف ارتفاع سطح الأرض على مقياس الرسم والمسافة المصورة.

مثال: التقطت صورة جوية رأسية بعدسة بعدها البؤرى ١٥٢,٤ مم من ارتفاع طيران ٤٠٠٠ متر. فإذا كان منسوب سطح الأرض يتراوح بين ٥٠٠ إلى ١٢٠٠ متر فوق منسوب سطح البحر. أوجد الاختلاف فى مقياس رسم الصورة؟

الحل:

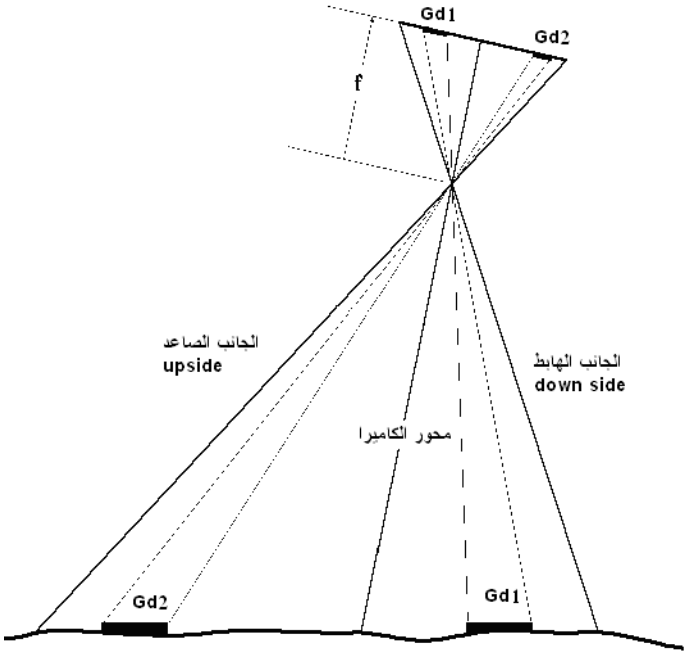
مقياس رسم الصورة عند ارتفاع ٥٠٠م= ١٥٢,٤/(٤٠٠٠-٥٠٠)x١٠٠٠= ١: ٢٢٩٦٥

مقياس رسم الصورة عند ارتفاع١٢٠٠م=١٥٢,٤/(٤٠٠٠-١٢٠٠)x١٠٠٠=١: ١٨٣٧٢

من هذا نستنتج أن مقياس رسم الصورة الجوية الواحدة يتفاوت عند كل نقطة منسوب ، ومن ثم يعد فى حقيقة الأمر مقياس رسم إعتبارى وليس مقياساً مطلقاً ، حيث يمثل فى الواقع متوسط منسوب سطح المنطقة المصورة بهدف تقليل أثر التباين الناتج عن تفاوت ارتفاع السطح. وعادة ما يتم حساب متوسط عام لمقياس الرسم أو مقياس الرسم الإعتبارى بحساب متوسط منسوب السطح. ففى المثال السابق يمكن حساب متوسط مقياس الرسم على النحو التالى: ١٥٢,٤ / ٤٠٠٠ –((١٢٠٠+٥٠٠)/٢) x ١٠٠٠ = ١: ٢٠٦٦٩

٤,٢,١٠: أثر الميل.

قد يحدث أثناء التصوير أن يميل محور الكاميرا عن المستوى الرأسى لسبب أو لأخر. ويؤدى هذا الميل إلى زيادة المسافة بين عدسة التصوير وسطح الأرض ، وبالتالى حدوث تشوه فى النسبة بين المسافة الأرضية والمسافة المصورة وهو ما ينعكس سلباً على مقياس رسم الصورة. ويوضح شكل ٦-١٩ الأثر الناتج عن ميل محور الكاميرا أثناء التصوير ، حيث نلاحظ أن مقياس الرسم يكون كبيراً فى الجانب الهابط down side من الأشعة ، بينما يقل مقياس الرسم فى الجانب الصاعد نتيجة لميل الأشعة الضوئية فى هذا الجانب بدرجة أكبر نسبياً عن الجانب الهابط. ولذلك فإن المسافة الأرضية المصورة فى الجانب الهابط Gd1 تشغل على الصورة مسافة أكبر من تلك المسافة الأرضية التى تشغلها Gd2 ، رغم أنهما فى الطبيعة متساويتين.



شكل ٦-١٩: أثر ميل محور الكاميرا على اختلاف مقياس رسم الصورة الجوية.

٣,١٠: حساب ارتفاع الطيران.

يمكن بواسطة مقلوب معادلة مقياس الرسم حساب ارتفاع الطيران flight height ، وذلك بضرب مقياس رسم الصورة المطلوب فى البعد البؤرى لكاميرا التصوير وذلك طبقا للعلاقة التالية:

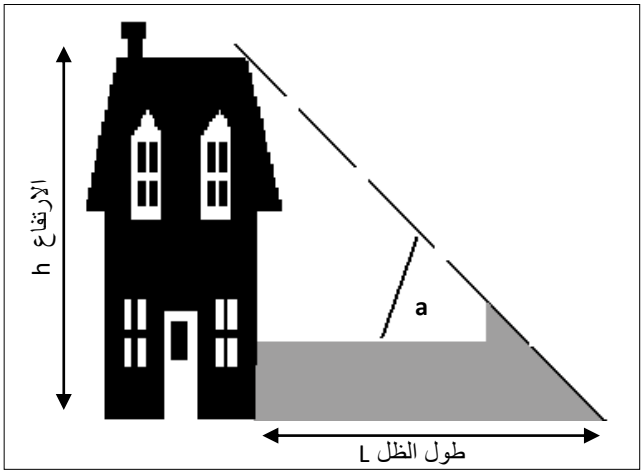
$$H = S_p \times f$$

وتستخدم هذه العلاقة عادة فى تحديد الارتفاع اللازم للطيران عند التصوير وذلك بعد تحديد مقياس الرسم اللازم لمشروع التصوير.

٤,١٠: حساب ارتفاع ظاهرات السطح بدلالة طول الظل.

يمكنم حساب ارتفاع ظاهرات السطح من الصورة الجوية المفردة بقياس طول ظل الظاهرة على الصورة الجوية ومعرفة ظل (ظا) زاوية سقوط أشعة الشمس (شكل ٦-٢٠) وذلك من خلال العلاقة التالية: $h = L_s \times \tan a$

حيث أن L_s هى طول الظل على الصورة و tan a هى ظل زاوية سقوط الشمس.



شكل ٦-٢٠: حساب ارتفاع الظاهرة بدلالة طول الظل وظا زاوية سقوط أشعة الشمس.

فإذا كان طول ظل المبنى ٥١,٩ قدم وظل زاوية سقوط أشعة الشمس ١,٤٤ فإن ارتفاع المبنى h يساوى ٥٩,١ x ١,٤٤ = ٨٥,١٠٤ قدم. ويمكن بدلالة

ارتفاع الظاهرة وطول حساب زاوية سقوط أشعة الشمس من مقلوب العلاقة السابقة حيث أن:

$$\tan a = h/L$$

فإذا كان ارتفاع أحد المبانى ١٧٢,٧٥ قدم وكان طول ظله ١١٩,٦٥ قدم فإن ظل زاوية سقوط أشعة الشمس يساوى ١٧٢,٧٥ / ١١٩,٦٥ = ١,٤٤. ويمكن الكشف عن هذه القيمة فى جدول الظلال أو تحويلها بالآلة الحاسبة بالضغط على Inv.tan لمعرفة القيمة الفعلية لزاوية السقوط بالدرجات فنجد أن ظل الزاوية ١,٤٤ يساوى ٥٥,٢ درجة.

٥,١٠: التداخل بين الصور الجوية Photo overlap.

تعتمد عملية التصوير الجوى على وجود نطاقات تداخل بين الصور الجوية أثناء التصوير بهدف إمكانية رؤية البعد الثالث ، وكذلك لضمان التأكد من التغطية الكاملة لسطح الأرض. وهناك نوعين من التداخل هما:

١,٥,١٠: التداخل الأمامى Forward overlap:

يعرف التداخل الأمامى بتداخل الأطراف endlap ، إذ يحدث تداخل بين أطراف الصور المتتابعة consecutive photos على طول خط الطيران الواحد. ويسمى نطاق التداخل بين كل زوجين من الصور المتتابعة بنموذج الاستريو stereo model ، وهو المسئول عن رؤية البعد الثالث لظاهرات السطح بواسطة أجهزة الرؤية المجسمة (شكل ٦-٢١). وتتراوح نسبة التداخل الأمامى بوجه عام بين ٥٥-٦٥% بمتوسط عام ٦٠ % من عرض الصورة.

ويعمل التداخل الأمامى على تصوير المسافة المحصورة بين مراكز الصور المتتابعة ، والتى يمكن حسابها على النحو التالى:

$$g_{end} = S_p \times w\ [(100-O_{end})/100]$$

حيث أن g_{end} هى المسافة المحصورة بين مركزى صورتين متتابعتين بالقدم ، S_p مقياس رسم الصورة ، w عرض الصورة بالبوصة ، O_{end} نسبة التداخل الأمامى. فإذا كان متوسط نسبة التداخل الأمامى يساوى ٦٠ % وكان عرض الصورة ٩ بوصات ، فإنه يمكن التعويض فى المعادلة السابقة عن قيمة $w\ [(100-O_{end})/100]$ بالثابت ٣,٦ ، ومن ثم يمكن تبسيط المعادلة على النحو التالى:

$$g_{end} = S_p \times 3.6$$

وعلى فرض أن مقياس رسم الصورة ١: ٢٠٠٠٠ فإن المسافة بين مركزى صورتين متتاليتين تساوى:

٢٠٠٠٠ x 3.6 = ٧٢٠٠ قدم (٢,١٩ كم).

غير أنه ينبغى تغيير هذا الثابت فى حالة تغير أبعاد أحد أطرافه مثل عرض الصورة ونسبة التداخل. فإذا فرضنا أن نفس الصورة أخذت بمقياس رسم ١:٢٠,٠٠٠ لكن عرض الصورة ١٢ بوصة وكانت نسبة التداخل ٦٥% ، فإن المسافة بين مركزى صورتيين متتاليتين تساوى:

$$g_{end} = S_p \times w\ [(100-O_{end})/100] =$$

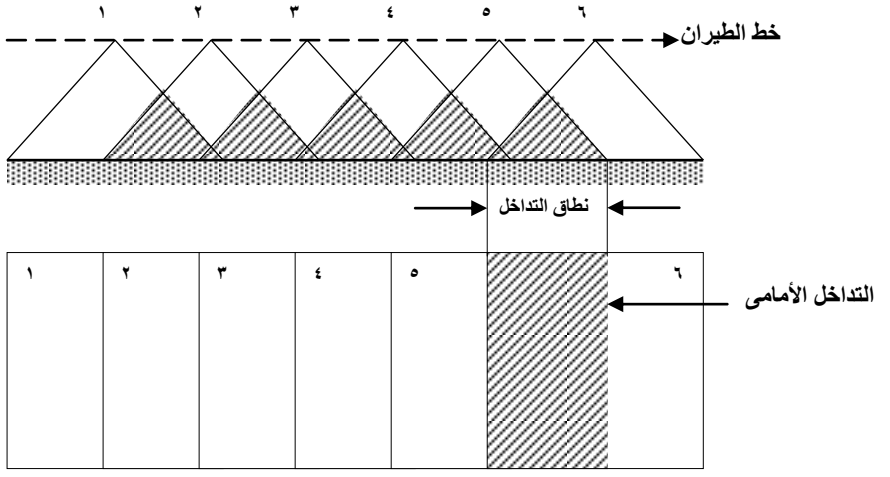
$$g_{end} = 20000 \times 12\ [(100-65)/100] = 20000 \times 4.2 =$$
$$84000\ ft\ (25.6\ km)$$

شكل ٦-٢١: التداخل الأمامى فى الصور الجوية.

٢,٥,١٠: التداخل الجانبى Sidelap:

يحدث التداخل الجانبى بين خطوط الطيران المتجاورة لضمان التغطية الشاملة ورؤية البعد الثالث لظاهرات السطح ، وتتراوح نسبته بين ٢٠-٤٠ % بمتوسط عام ٣٠ % (شكل٦-٢٢). ويعمل التداخل الجانبى على تصوير المسافة المحصورة بين مراكز خطوط الطيران المتجاورة ، والتى يتم حسابها على النحو التالى:

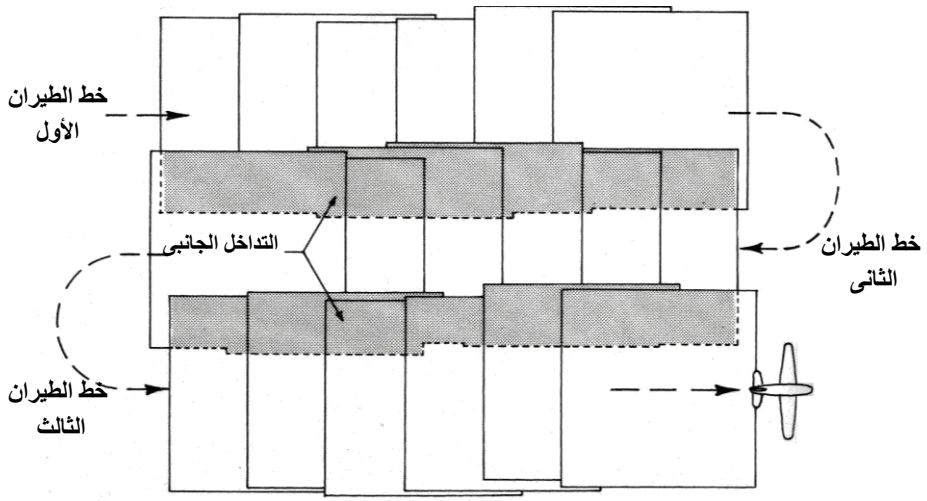
$$g_{side} = S_p \times w\ [(100-O_{side})/100]$$

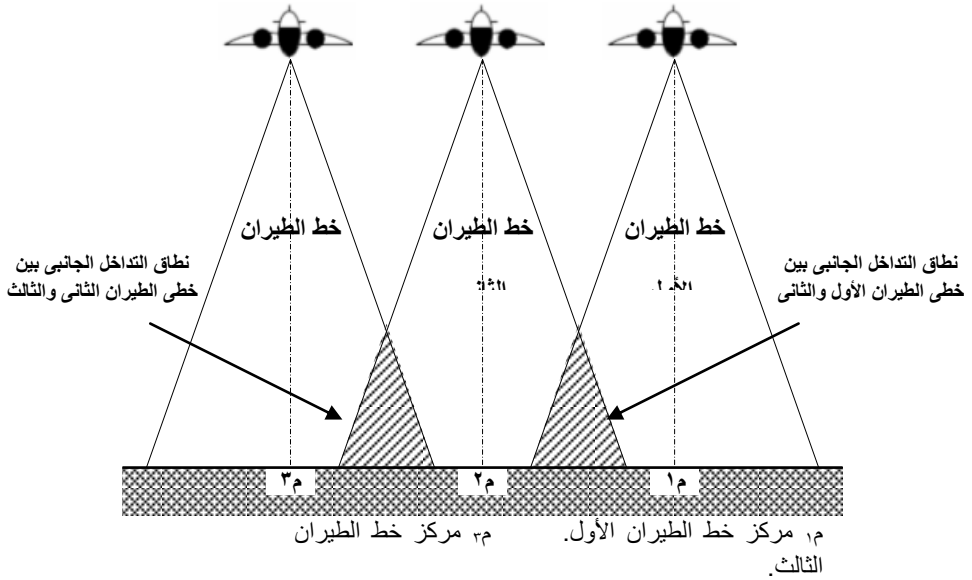


حيث أن g_{side} هى المسافة المحصورة بين مركزى خطين طيران متجاوريين بالقدم وO_{side} هى نسبة التداخل الجانبى. فإذا كانت صورة جوية مقياس رسمها ١:٢٠,٠٠٠ وعرضها ٩ بوصات ونسبة التداخل الجانبى ٣٠ ، فإن:

$$g_{side} = ٢٠٠٠٠ \times 9\ [(100-30)/100] =$$

$$20000 \times 6.3 = 126000\ ft\ (38.4\ km)$$





أ. منظور رأسى

ب. منظور أفقى بمواجهة خطوط الطيران

شكل ٦-٢٢: التداخل الجانبى فى الصور الجوية.

٦,١٠: الإزاحة فى الصور الجوية Displacement.

تعانى الصور الجوية بوجه عام من وجود اختلاف فى مواقع ظاهرات الصورة مقارنة بمواقعها الفعلية على سطح الأرض ، ويعرف هذا الاختلاف بالإزاحة displacement or shifting. وتتعدد مصادر الإزاحة فى الصور الجوية على النحو التالى:

- إزاحة ناتجة عن تقوس سطح الأرض earth curvature.
- إزاحة ناتجة عن ميل محور الكاميرا أثناء التصوير.

- الإزاحة تضاريسية relief displacement.

أما الإزاحة الناتجة عن تقوس سطح الأرض فلا يظهر تأثيرها إلا فى الصورة الجوية صغيرة المقياس والتى تغطى مساحات شاسعة من سطح الأرض ، بينما يكاد ينعدم تأثيرها فى منتجات الصور الجوية الأخرى. بالمثل فإن الإزاحة الناتجة عن ميل محور الكاميرا يمكن التحكم فيها والحد من تأثيرها باستعمال أجهزة gyroscopically-controlled وهو عبارة عن عجلة توضع علها الكاميرا داخل الطائرة بحيث تدور بحرية لضبط ميل محور الكاميرا. أما الإزاحة التضاريسية فهى الأكثر تأثيراً فى الصور الجوية حيث يزداد مقدار هذه الإزاحة فى الأراضى شديدة الإنحدار وكذلك بالابتعاد عن مركز الصورة. ويرجع هذا إلى أن الصورة الجوية فى واقع الأمر هى تصوير لسطح ثلاثى الأبعاد (س ، ص ، ع) ، غير أن هذه الابعاد الثلاثة يتم إختزالها على الصورة فى بعدين أثنين فقط هما (س ، ص). فهى بذلك تقوم بتحويل السطح ثلاثى الأبعاد إلى أخر أفقى مستوى ، يفتقد لبيانات الارتفاع منسوبة إلى مستوى الإسناد (منسوي سطح البحر). الأمر الذى يؤدى إلى وجود إزاحة أفقية للظاهرات عن وضعها الطبيعى. ولتوضيح ذلك نفرض أن مبنى يرتفع عن سطح الأرض رأسياً لنحو ٥٠ مترا ، فإنه من المنطقى أن يشغل كل من قاعدة المبنى وقمته نفس الموقع الجغرافى (س ، ص) لكنهما يختلفان فيما بينهما فقط من حيث الارتفاع. لكن ذلك لا يبدو على الصورة الجوية بهذه البساطة ، إذ يحدث إزاحة فيما بين موقع كل من قمة المبنى وقاعدته على الصورة الجوية (شكل ٦-٢٣) ، هذا الفارق فى الإزاحة لا يكون متساويا بين الصور حتى وإن كانت داخل نفس خط الطيران.

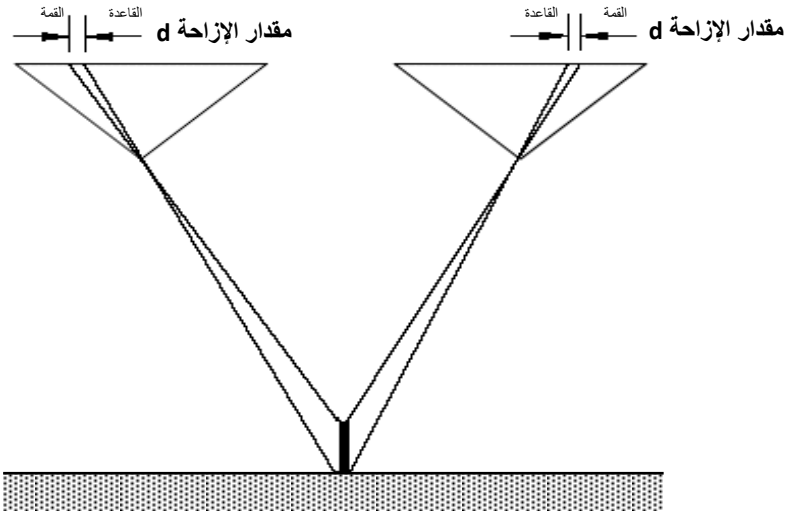
إن تأثير الإزاحة التضاريسية لا يقلل من جودة الصور الجوية وإنما يستفاد منه فى إعداد المجسمات وحساب ارتفاع الظاهرات. ويمكن حساب مقدار الإزاحة التضاريسية على الصورة الواحدة تبعا للمعادلة التالية:

$$d = r(h)/H$$

ومنها يمكن حساب ارتفاع أى ظاهرة من العلاقة:

$$h = d(H)/r$$

حيث أن d هى الإزاحة التضاريسية أو الإشعاعية radial displacement عن نقطة النظير Nadir point ، r هى المسافة الإشعاعية على الصورة من نقطة النظير أو المركز حتى قمة الظاهرة المراد حساب ارتفاعها ، وتمثل h ارتفاع الظاهرة بينما H تمثل ارتفاع الطيران فوق قاعدة الظاهرة أو عند نقطة النظير. وتستخدم هذه المعادلة فى حساب الارتفاع من الصور الجوية المفردة.



شكل ٦-٢٣: الإزاحة فى الصور الجوية.

أمثلة: التقطت صورة جوية رأسية لبرجين من ارتفاع ٢٥٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر. فإذا كانت المسافة بين قاعدة البرجين ومركز الصورة متساوية ٨,٣٥ سم ، وكان ارتفاع البرج الأول ١٢٠ م والثانى ٨٥ متر فوق منسوب سطح البحر. أوجد الإزاحة التضاريسية لقمتى البرجين على الصورة ودلالاتها؟

الحل: الإزاحة التضاريسية لقمة البرج الأول:

$$d = r(h)/H$$

8.35 cm x 120 m x 100 (للتحويل إلى سم) / 2500 x 100

= (للتحويل إلى سم)

4.008 مم = (للتحويل إلى ملليمترات) 0.4008 cm x 10

الإزاحة التضاريسية لقمة البرج الثانى:

8.35 cm x ٨٥ m x 100 / 2500 x 100 =

2.839 مم = 0.2839 cm x 10

نستنتج من هذا المثال أن الإزاحة التضاريسية تتباين تبعا لارتفاع ظاهرات السطح. وحيث أن البرج الأول أكثر ارتفاعا عن البرج الثانى فإن إزاحته التضاريسية أكبر عن الإزاحة التضاريسية للبرج الثانى.

التقطت صورة جوية رأسية لبرجين أ ، ب من ارتفاع ٢٥٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر. فإذا كان ارتفاع البرجين متساوى ١٠٠ م فوق منسوب سطح البحر. وتبتعد قمة كلا البرجين عن مركز الصور لمسافة ٦,٥٥ سم و ٩,٢٥ سم لكل من أ ، ب على الترتيب. أوجد الإزاحة التضاريسية للبرجين على الصورة ودلالاتها؟

الحل: الإزاحة التضاريسية للبرج أ:

٦,٥٥ cm x 100 m x 100 / 2500 x 100 =

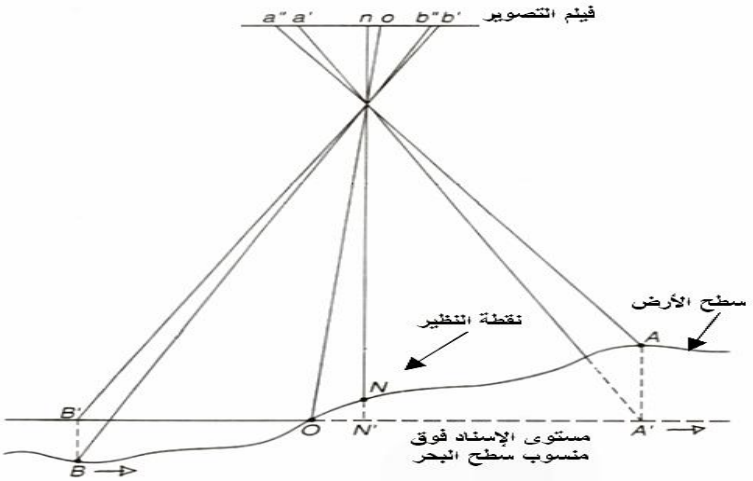
مم 0.262 cm x 10 = 2.62

الإزاحة التضاريسية للبرج ب:

٩,٢٥ cm x 100 m x 100 / 2500 x 100 =

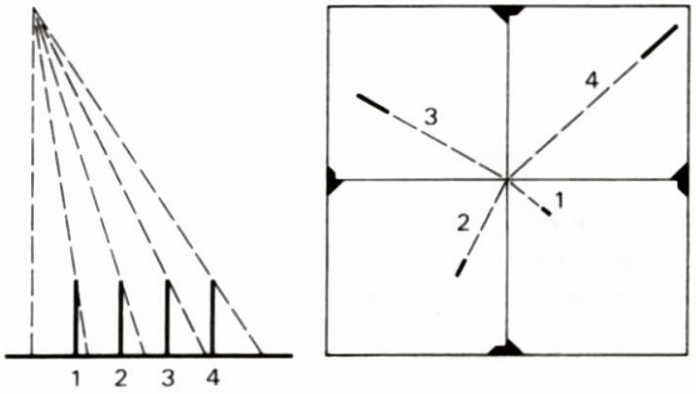
مم 0.37 cm x 10 = 3.7

نستنتج من هذا المثال أن الإزاحة التضاريسية تتباين تبعا لبعد الظاهرة عن مركز الصورة. فالظاهرات التى تبتعد عن مركز الصورة تنزاح إشعاعياً لمسافات أقل من تلك البعيدة عن مركز الصورة (شكل ٦-٢٤). ومن ثم فإن الإزاحة التضاريسية للبرج ب أعلى



من نظيرتها عند البرج أ ، نظرا لأن البرج ب يقع على مسافة بعيدة عن مركز الصورة. وبوجه عام فإن الظاهرات التى يرتفع منسوبها عن مستوى الإسناد (منسوب سطح البحر) تنزاح بعيداً عن نقطة النظير outward displacement ، بينما الظاهرات التى تنخفض عن مستوى الإسناد تنزاح باتجاه نقطة النظيرinward displacement (شكل ٦-٢٥).

شكل ٦-٢٤: الإزاحة الإشعاعية فى الصور الجوية. يلاحظ أن الظاهرات التى تبتعد عن مركز الصورة مثل النقطة ٤ ، ٣ تنزاح لمسافات أبعد عن تلك القريبة من المركز مثل ١ ، ٢.



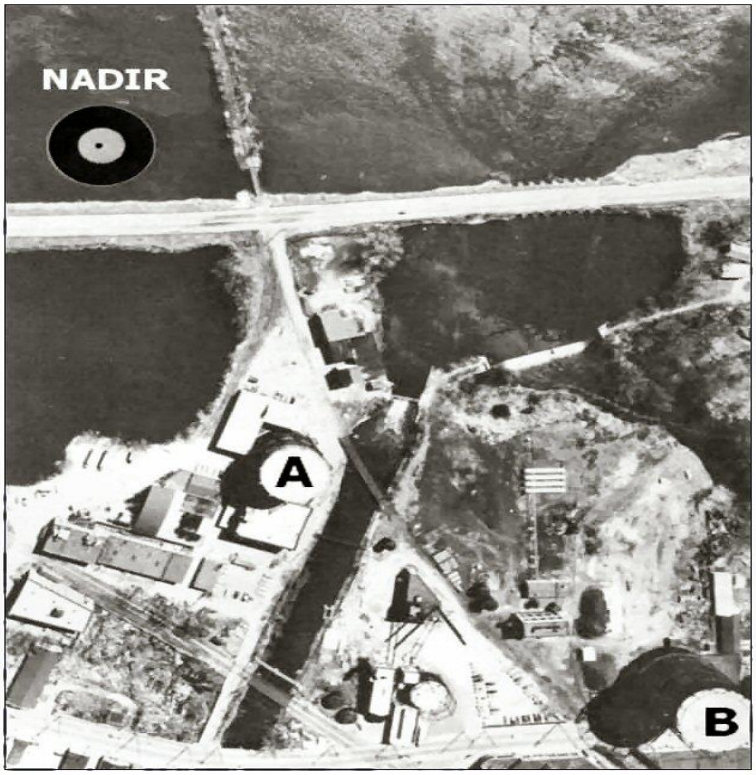
شكل ٦-٢٥: اختلاف إزاحة ظاهرات الصورة عن نقطة النظير تبعا لارتفاع الظاهرات. يلاحظ أن النقطة A التى ترتفع عن منسوب الإسناد تعرضت لإزاحة بعيداً عن مركز الصورة n عند ″a، بينما النقطة B التى تنخفض عن مستوى الإسناد تعرضت لإزاحة باتجاه مركز الصورة عند ḃ.

يوضح شكل ٦-٢٦ خزانين للمياه (A-B) من ارتفاع طيران ٩١٤ متر. فإذا كانت أطوالهما على الصورة (الإزاحة التضاريسية) ٤,٥ مم و ٩,٥ مم على التوالى ، وكانت المسافة بين الخزانين ومركز الصورة هى ٥٩,٥ مم و١٢٧ مم على الترتيب. أوجد ارتفاع الخزانين فى الطبيعة؟

الحل: ارتفاع الخزان A = $h = d(H)/r$

٤,٥ مم x ٩١٤ م / ٥٩,٥ مم = ٦٩,١٢ متر

ارتفاع الخزان B = ٩,٥ مم x ٩١٤ م / ١٢٧مم = ٦٨,٣٧ متر



شكل ٦-٢٦: قياس ارتفاع الظاهرات بدلالة الإزاحة التضاريسية.

صورت عمارة سكنية من ارتفاع طيران ١٥٠٠ متر على صورة جوية رأسية ، وكانت المسافة بين قاعدة العمارة وسطحها العلوى (الإزاحة التضاريسية) ١٤,٣ مم ، والمسافة بين مركز الصورة وسطح العمارة تساوى ٨٥,٥ مم. فإذا علمت أن قاعدة العمارة ترتكز على منسوب ٤٠٠ متر فوق منسوب سطح البحر. أوجد ارتفاع العمارة؟

الحل: $h = d\,(H-h)\,/r$

$$14.3\ mm\ (1500m - 400m)\ /\ 85.6\ mm = 183.76\ m$$

إذا علمت أن الإزاحة التضاريسية لقمة برج تساوى ٥,٣ مم (قيست من قاعدة البرج حتى القمة على صورة جوية رأسية) وكانت المسافة الإشعاعية بين قمة البرج ومركز الصورة تساوى ٥٩ مم ، وكان مقياس رسم الصورة ١:١٠٠٠٠ ، والبعد البؤرى لكاميرا التصوير ١٥٢,٤ مم. أوجد ارتفاع البرج؟

الحل: بداية يتم حساب ارتفاع الطيران H بدلالة مقياس الرسم والبعد البؤرى ، حيث أن:

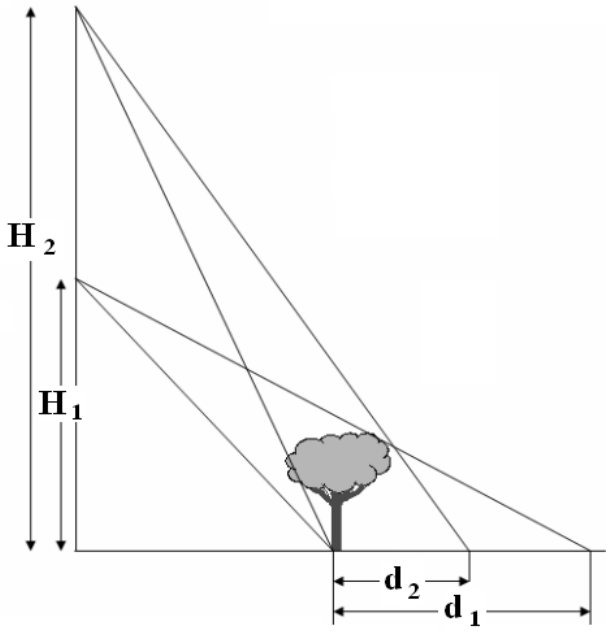
H = 10000 x 152.4 mm / 1000 (للتحويل إلى أمتار) = 1524 m.

ثانيا ارتفاع البرج:

5.3 mm x 1524 m / 59 mm = ١٣٦,٩ m

ويمكن من خلال هذه العلاقات السابقة استنباط الحقائق التالية:

- تخلو نقطة النظير من أى إزاحة تضاريسية ومن ثم فإذا كانت المسافة الإشعاعية بين نقطة النظير وقمة الظاهرة r تساوى صفر ، فإن الإزاحة التضاريسية d تساوى صفرا بالضرورة.
- تتناسب الإزاحة التضاريسية عكسياً مع ارتفاع الطيران ، فكلما يزداد ارتفاع الطيران يقل الإزاحة التضاريسية. ومن ثم فإن الارتفاع $2H_1 = H_2$ ومقدار الإزاحة $d_1=2d_2$ (شكل ٦-٢٧).
- تتناسب الإزاحة التضاريسية مع ارتفاع ظاهرات الصورة. فالإزاحة التضاريسية لمبنى ارتفاعه ١٠٠ متر سوف تكون مضاعفة للإزاحة التضاريسية لمبنى ارتفاعه ٥٠ مترا.
- تتباين الإزاحة التضاريسية تبعا لاختلاف المسافة الإشعاعية بين مركز الصورة والظاهرة.



شكل ٦-٢٧: العلاقة بين ارتفاع الطيران والإزاحة التضاريسية.

٧,١٠: الفارق بين الإزاحة وتشوهات الصورة Distortion vs. displacement.

عادة ما يستخدم البعض مصطلح تشوهات distortions بديلاً عن مصطلح إزاحة displacement. غير أن تشوهات الصورة الجوية نعنى بها حالة الزيغ aberration التى تتعرض لها الصورة الجوية وليس الإزاحة. وتتعدد مصادر تشوه الصور الجوية على النحو التالى:

- تقلص وتمدد فيلم التصوير والصور المنتجة.
- انكسار الضوء نتيجة لتأثير الظروف الجوية.

- حركة الصورة والطائرة.
- التشققات الدقيقة فى عدسة التصوير.

ويؤدى كل من الإزاحة والتشوهات إلى انحراف أو تغيير مواقع ظاهرات الصورة عن مواقعها الفعلية فى الطبيعة. غير أن التشويه يحدث تغيرا فى الخصائص التصويرية أو المنظورية perspective characteristics لظاهرات الصورة. أما الإزاحة فتحدث تغيرا فى مواقع ظاهرات الصورة دون أن تؤثر على خصائصها المنظورية مثل المسافات بين الظاهرات حتى مع اختلاف مناسيبها مقارنة بمستوى الإسناد أو منسوب سطح البحر.

١١: تمارين عامة على حساب مقياس الرسم وارتفاع الطيران.

١. التقطت صورة جوية من كاميرا بعدها البؤرى ٢٠ سم من ارتفاع طيران ٤٢٠٠ متراً. فإذا كان متوسط منسوب سطح الأرض ٣٠٠ متر. أحسب مقياس رسم الصورة؟

الحل: مقياس رسم الصورة = البعد البؤرى / (ارتفاع الطيران – متوسط منسوب سطح الأرض) = ٢٠ سم / (٤٢٠٠ م-٣٠٠ م) x ١٠٠ (للتحويل إلى أمتار) = ١: ١٩٥٠٠,

٢. كاميرا تصوير جوى بعدها البؤرى ٢١ سم محمولة على طائرة على ارتفاع ٢٥٠٠ متر فوق أرض متوسط منسوبها ٤٠٠ متر ، أوجد مقياس رسم الصورة؟

الحل: مقياس الرسم = البعد البؤرى/ (ارتفاع الطيران – متوسط منسوب سطح الأرض) =

٢١ سم / (٢٥٠٠-٤٠٠) x ١٠٠ = ١: ١٠٠٠٠,

٣. أخذت صورة جوية بعدسة تصوير بعدها البؤرى ١٥٠ مم من ارتفاع طيران ٣٠٠٠ متر. أوجد مقياس الرسم؟

الحل: مقياس الرسم = ١٥٠/٣٠٠٠ x ١٠٠٠ (للتحويل من مم إلى أمتار) =١: ٢٠٠٠٠,

٤. أخذت صورة جوية رأسية من ارتفاع طيران ٢٠٠٠ متر فوق أرض متوسط منسوبها ٥٠٠ متر فوق منسوب سطح البحر. فإذا علمت أن البعد البؤرى لعدسة التصوير هو ١٥٠ مم. أوجد مقياس الرسم عند نقطة ارتفاعها ٦٧٥ متر؟

الحل: ارتفاع الطيران = ٢٠٠٠ + ٥٠٠ = ٢٥٠٠ متر

مقياس الرسم = ١٥٠مم / (٢٥٠٠-٦٧٥) x ١٠٠٠ = ١: ١٢٦٦,

٥. أوجد ارتفاع الطيران لصورة جوية بمقياس رسم ١: ٢٠٠٠٠ أخذت فوق أرض يتراوح منسوبها بين ٢٠٠-١٠٠٠ متر إذا علمت أن البعد البؤرى لكاميرا التصوير ٣٠ سم؟

الحل: متوسط منسوب سطح الأرض = (٢٠٠-١٠٠٠) / ٢ = ٦٠٠ متر

بما أن مقياس الرسم (١/٢٠٠٠٠) = ٣٠ / (H-٦٠٠)

إذن H - ٦٠٠ = ٢٠٠٠٠ x ٣٠ / ١٠٠ (للتحويل إلى م)

ارتفاع الطيران H = ٦٠٠ + ٦٠٠٠ = ٦٦٠٠ متر.

٦. التقطت صورة جوية لمنطقة بعدسة بعدها البؤرى ١٥٠ مم من ارتفاع ٦٠٠٠ متر. وكان اعلى منسوب فيها ٤٠٠٠ متر ، و ادنى منسوب ٢٠٠٠ متر. احسب أكبر واصغر مقياس رسم للصورة وكذلك مقياس الرسم المتوسط؟

الحل: أصغر مقياس = ١٥٠/ (٦٠٠٠-٢٠٠٠) = ١٥٠/٤٠٠٠ x ١٠٠٠ = ١: ٢٦٦٦٦.

أكبر مقياس = ١٥٠ / (٦٠٠٠ - ٣٠٠٠) = ١٥٠ / ٣٠٠٠ x ١٠٠٠ =١: ٢٠٠٠٠.

مقياس الرسم المتوسط = ٢٦٦٦٦ + ٢٠٠٠٠ / ٢ =١: ٢٣٣٣٣,

٧. قيست مسافة على صورة جوية رأسية بين نقطتين أ ، ب فكانت ٨ سم. فإذا كانت المسافة بين نفس النقطتين تساوى ١٦ سم على خريطة طبوغرافية مقياس رسمها ١:١٠,٠٠٠. احسب مقياس رسم الصورة؟

الحل: مقياس رسم الصورة = (١٦/٨) x (١/١٠٠٠٠) = ١: ٢٠٠٠٠.

الفصل الرابع : منتجات الصور الجوية.

١٢: منتجات الصور الجوية.

تتعدد منتجات الصور الناتجة عن عملية التصوير الجوى ما بين صور مفردة ودليل الصور وزوجيات الصور والصور العمودية وغيرها. ولكل منها أهميته واستخداماته المختلفة التى يمكن تلخيصها على النحو التالى:

١,١٢: الصور المفردة Single photo.

الصور المفردة هى أبسط أنواع الصور الجوية أو هى المنتج الرئيسى من عمليات التصوير الجوى الذى يتم الحصول عليها مباشرة بعد تحميض الفيلم. وتستخدم مفردة أو فى شكل مجموعات من الصور المفردة المتتابعة ، وذلك فى الدراسات الاستكشافية بهدف التعرف على السمات العامة لظاهرات السطح. وتخضع هذه الصور لعمليات تفسير نظرى سريع عادة ما يتم فى الحقل مباشرة دون الرجوع إلى وسائل وأدوات التحليل الدقيقة ، إذ أن الهدف الرئيسى من تفسيرها ليس الحصول على بيانات أو قياسات دقيقة ، وإنما استكشاف منطقة الدراسة والتعرف على أهم أنماط استخدامات الأرض فيها وظاهرات السطح السائدة بوجه عام. ولذلك لا يهتم هنا مفسر الصور كثيراً بدراسة مناطق التداخل ونقل المراكز الرئيسية بين الصور المتتالية ، وإنما هدفه الرئيسى هو إلقاء نظرة شاملة على منطقة الدراسة وتحديد الاتجاهات. والصور المفردة لها أهمية خاصة فبدونها لا يمكن إعداد باقى منتجات الصور الجوية التى سنذكرها لاحقاً.

٢,١٢: دليل الصور Photo index.

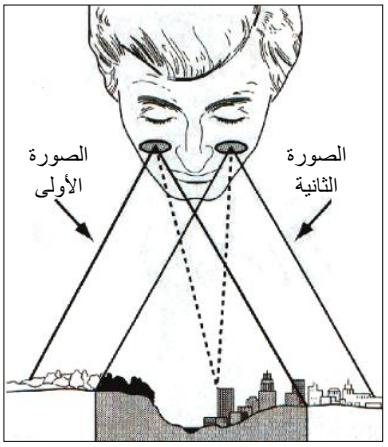
يمثل دليل الصور نوعاً خاصاً من الموزايك غير المحكم ، وهو يشبه مفتاح الخرائط الطبوغرافية إلى حد بعيد. فدليل الصور الجوية هو عبارة عن تجميع assembly للصور الجوية داخل مشروع ما ، ويتم ذلك بتوقيع كافة الصور الجوية التى تم تصويرها خلال المشروع على لوحة واحدة أو أكثر وتصويرها مرة أخرى بواسطة كاميرا التصوير الجوية على فيلم مقياس ٢٠ x 24 بوصة ثم طباعتها بمقياس رسم مناسب. ويتضمن دليل الصور تصغير للصور الجوية حيث يتم وضعها بجوار بعضها البعض حسب ترتيب خطوط الطيران أولاً ، ثم حسب ترتيب كل صورة داخل خط الطيران الواحد ثانياً ، ترقم بعد ذلك كل صورة داخل الدليل طبقاً لهذا الترتيب. ويحتوى دليل الصور عادة على عدة معلومات هامة مثل عنوان مشروع التصوير ورقمه وتاريخه والمنطقة المصورة والشركة القائمة بعملية التصوير والجهة التابع لها المشروع ومقياس الرسم ومفتاح للرموز التى قد تستخدم عند طباعة الدليل وغير ذلك من البيانات الأخرى. إن الهدف الرئيسى من إعداد دليل الصور هو الرجوع إليه عند البحث عن صورة تمثل مكان معين من منطقة البحث ، بحيث لا يتكبد الباحث عناء البحث بين الصور المختلفة ، وإنما يمكنه الإسترشاد مباشرة بدليل الصور الجوية والرجوع إليه لترتيب الصور ومعرفة رقم الصورة المطلوبة وإلقاء نظرة عامة على ما تحتويه هذه الصورة من ظاهرات. ويعد استخدام دليل الصور كذلك فى الدراسات الاستكشافية عملياً للغاية عن استخدام الصور المفردة. كما قد يستخدمه البعض فى عمل خرائط الأساس بمقياس رسم مناسب ، غير أن ذلك أمراً غير مفضل على الإطلاق ، فدليل الصور كما ذكرنا آنفاً هو نوع من الموزايك غير المحكم لذلك تعانى الصور فيه من عدم توافق mismatch

أو إنحرافات عن مواضعها الفعلية سواء بين الصور بعضها البعض أو بين خطوط الطيران المتتالية. كما قد يعانى كذلك من تباين فى مقياس الرسم من صورة لأخرى نتيجة للإزاحة التضاريسية. لذلك لا يفضل الاعتماد على القياسات المستخرجة من دليل الصور أو الاعتماد عليه فى إعداد خرائط الأساس إلا بعد التأكد من أنه لا يعانى مثل هذه الانحرافات التى يجب ألا تزيد بوجه عام عن ٠,٣٨١ سم. وفى المناطق شديدة التضرس ينبغى توخى الحذر فى أية قياسات تستخرج من دليل الصور إذ قد تزيد هذه الإنحرافات عن ١,٢٧ سم أى نحو نصف بوصة.

٣,١٢: زوجيات الصور Stereopair والمجسم الثنائى (الاستريوجرام) Stereogram.

يفيد التداخل overlap بين الصور الجوية فى عمل زوجيات الصور التى يمكن بواستطها رؤية البعد الثالث لأشكال السطح من الصور الجوية بواسطة أجهزة الرؤية المجسمة المعروفة بالاستريوسكوب. وتستخدم زوجيات الصور فى إنشاء المجسم الثنائى (الاستريوجرام) والذى تقوم فكرة إنشاءه على أساس أن قاعدة العين (متوسط المسافة بين إنسان العينين) تساوى ٥,٧ سم تقريباً يمكنها أن تغطى رؤية لمسافة واحد ميل تقريباً (شكل ٦-٢٨). ومن ثم يمكن للإنسان بذلك أن يرى الأشياء بالبعد الثالث حتى لو صورت من ارتفاعات أكبر من ذلك. وتعتمد فكرة الرؤية المجسمة على أن كل عين تمثل فى الواقع موقع الطائرة وقت تصوير الظاهرة وأن انحدارات السطح تتضخم exaggerated بشدة نتيجة تصويرها من زاويتين مختلفتين نتيجة لزيادة

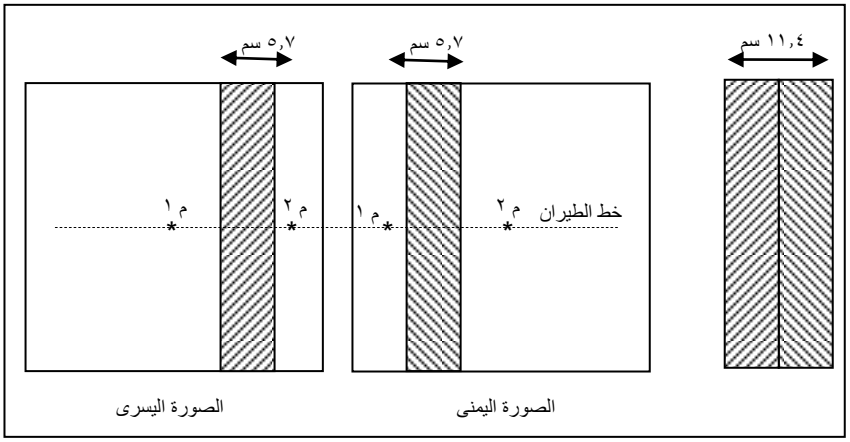
المسافة بين موضعى كاميرا التصوير فى كل مرة. ويمكن تحديد خطوات عمل المجسم الثنائى على النحو التالى (أشكال ٦-٢٩ ، ٦-٣٠):



شكل ٦-٢٨: العلاقة بين قاعدة العين وإمكانية الرؤية المجسمة.

- نقل مراكز الصور على زوجين متتاليين من الصور الجوية مع تحديد موضع الصورة اليمنى واليسرى وكذلك اتجاه الطيران.
- تحديد الظاهرة المراد دراستها بواسطة الرؤية المجسمة ، على أن تكون هذه الظاهرة ضمن نطاق التداخل بين الصورتين.
- ينبغى ألا يزيد عرض الجزء المراد دراسته فى كل صورة عن قاعدة العين (٥,٧ سم) ، بحيث لا يزيد عرض الاستريوجرام النهائى عن ١١,٤ سم تقريباً.
- يتم تحديد النطاق الذى توجد فيه الظاهرة على كلا الصورتيين ، ثم يقطع هذا النطاق بقاطع حاد من كل صورة.

▪ يتم لصق هذه النطاقات بعد ذلك على ورق مقوى بجوار بعضها البعض على أن يمثل خط الطيران خطاً مستقيماً ، مع مراعاة ترتيب النطاقات حسب وضعها الصحيح.



شكل ٦-٢٩: طريقة تجهيز المجسم الثنائى "الاستريوجرام".

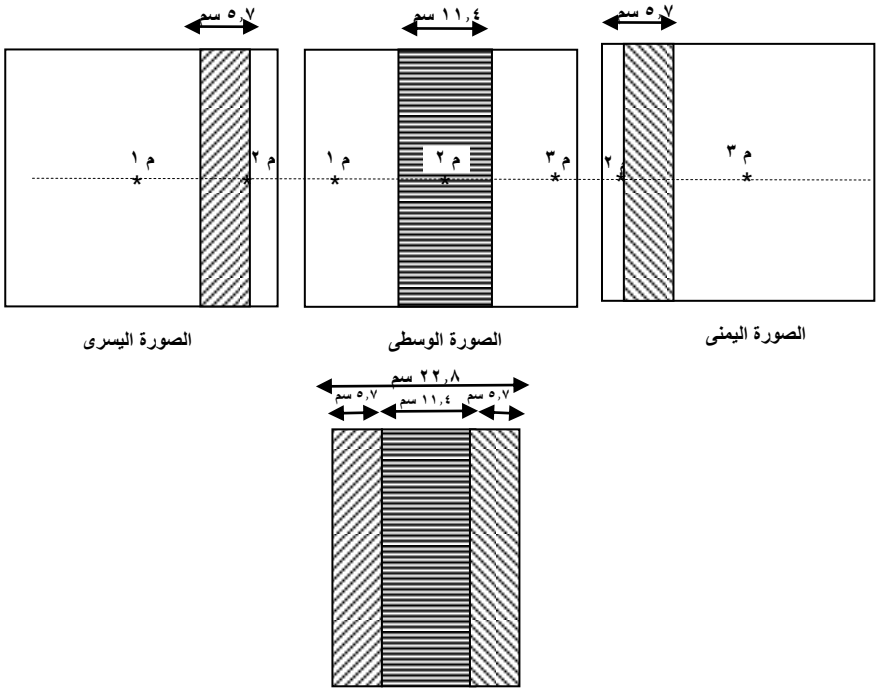
٤,١٢: المجسم الثلاثى (استريوتريبليت) Stereotriplet.

تعود الحاجة لإنشاء المجسم الثلاثى إلى دراسة الظاهرات التى تشغل على الصورة مسافة كبيرة تزيد عن قاعدة العين وذلك بهدف الرؤية المجسمة. ويضطر هنا المفسر إلى استخدام ثلاث صور جوية متتابعة ، مع ضرورة وقوع الظاهرة فى نطاقات التداخل بين الصور الثلاث كلياً أو جزئياً ، بحيث تقع الظاهرة المراد دراستها بالكامل فى النهاية داخل المجسم الثلاثى المعروف بالاستريوتريبيلت. وخطوات عمل المجسم الثلاثى تشبه طريقة عمل المجسم الثنائى تماماً باستثناء أن النطاق المنزوع من الصورة الوسطى يغطى مسافة تساوى ضعف قاعدة العين تقريباً. ويمكن تحديد طريقة إنشاء المجسم الثلاثى على النحو التالى (أشكال ٦-٣١ ، ٦-٣٢):

شكل ٦-٣٠: مجسم ثنائى لجامعة ويسكونسن الأمريكية.

- ترتيب الصور الجوية الثلاث المتتابعة ترتيباً صحيحاً حسب موقعها فى خط الطيران وموضع الظاهرة المراد دراستها فيها جميعاً.
- نقل مراكز الصور المتتابعة على كل صورة ، بحيث يكون على الصورة اليمنى مركزين يمثل الأول مركز الصورة اليمنى والثانى مركز الصورة الوسطى. وبالمثل الصورة اليسرى نجد فيها مركزين يمثل الأول مركز الصورة اليسرى أما الثانى فيمثل مركز الصورة الوسطى. اما الصورة الوسطى فيتمثل بها ثلاثة مراكز هى من اليمين مركز الصورة اليمنى يليه فى الوسط مركز الصورة الوسطى ثم مركز الصورة اليسرى جهة اليسار.

- يتم توصيل المراكز المختلفة التى تم تحديدها بخط مستقيم للتأكد من عدم وجود ميول أثناء الطيران.
- تحديد الظاهرة المراد دراستها فى الصورة الوسطى أولاً والتى تغطى مسافة تساوى ضعف قاعدة العين تقريباً.مع مراعاة أن يكون مركز الظاهرة فى متوسط هذه المسافة تقريباً، بحيث يمكن تقسيم الظاهرة عن يمينه ويساره إلى مسافات تساوى طول قاعدة العين(٥,٧ سم).
- نقل حدود النطاق فى الصورة اليمنى وكذلك فى الصورة اليسرى ، على أن يكون كل نطاق منها مساوياً لطول قاعدة العين.
- تقطع هذه النطاقات جميعاً بقاطع حاد ثم تلصق بنفس ترتيبها جيداً على ورق مقوى.



شكل ٦-٣١: طريقة تجهيز المجسم الثلاثى "الاستريوتريبيلت".

شكل ٦-٣٢: مجسم ثلاثى "استريوتريبيلت" يوضح ناطحات السحاب فى جزيرة مونتان بمدينة نيويورك ، الولايات المتحدة الأمريكية.

٥,١٢: الموزايك Mosaic.

ذكرنا فيما سبق أن مقياس رسم الصورة الجوية يختلف من موضع لأخر على الصورة الواحدة نتيجة للتشوهات الهندسية الناتجة عن الإسقاط المركزى لعدسة التصوير. وأن مركز الصورة هو المنطقة الوحيدة صحيحة المقياس ، نظراً لأن الإسقاط فيها يكون عمودياً تقريباً على إفتراض أن الصورة الجوية رأسية تماماً. وتقوم فكرة الموزايك على إنشاء خرائط مصورة[١] ذات مقياس رسم صحيح ، بحيث تغطى مساحات أوسع من سطح الأرض عن تلك التى تغطيها الصور المفردة. لذلك يعتمد إنشاء الموزايك على تحديد المنطقة المركزية فى كل صورة من الصور الجوية وفصلها عن باقى الصورة ، ثم تلصق على ورق مقوى بعد وضعها فى نفس ترتيبها الصحيح (شكل ٦-٣٣). ويتميز الموزايك فى هذه الحالة عن الخريطة الطبوغرافية فى كونه تصوير فعلى مطلق لظاهرات السطح ، يحتوى على تفاصيل دقيقة قد لا يمكن وضعها جميعاً على الخريطة الطبوغرافية. كما أن الموزايك يمكن عمله فى وقت قصير وبتكاليف منخفضة فى حالة توافر الصور الجوية ، بينما تحتاج الخريطة لمراجعة حقلية واسعة وتكاليف عالية. غير أن الموزايك لا يظهر به نقاط المناسيب على العكس من الخرائط. ويستعمل الموزايك عادة فى التخطيط الأقليمى وإنشاء خرائط الأساس واستخدامات الأراضى ودراسة التراكيب والتكوينات الجيولوجية ، وكذلك فى دراسات أشكال السطح وشبكات التصريف المائى والتربة والغابات ومسح الموارد الأرضية ودراسة الأخطار الطبيعية. وتتوقف دقة الموزايك بصفة عامة على درجة الربط

[١] تختلف هذه الخرائط المصورة عن الصور العمودية المعروفة بالاورثوفوتوجرافى Orthophotography والتى سوف نعرضها لها فيما بعد.

الأرضى ground control ومن ثم يمكن تصنيف الموزايك إلى ثلاثة أنواع رئيسية هى:

١,٥,١٢: الموزايك المحكم أو المضبوط Controlled mosaic.

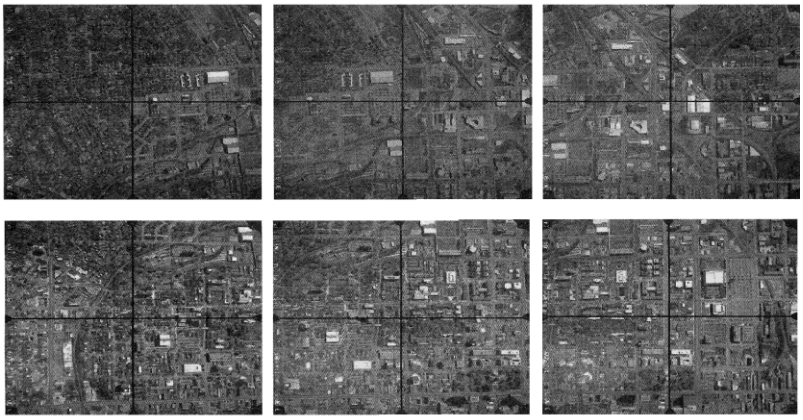
ويتم فيه تجميع الصور بعد تصحيح إنحرافات الميل وتشوهات مقياس الرسم والإزاحة وذلك بواسطة جهاز تقويم الصور الذى يقوم بتكبير أو تصغير الصور ، بحيث تنطبق عليها بعض نقاط الربط أو التحكم الأرضى التى تم رفعها من الميدان. يتم بعد ذلك تجميع الصور بعناية شديدة وتصحيح درجات اللون ومقياس الرسم ، وقد يضاف عليها اسماء بعض الأعلام والرموز والاصطلاحات المستخدمة عند إخراج الصورة النهائية (شكل ٦-٣٤).

٢,٥,١٢: الموزايك غير المحكم أو غير المضبوط Uncontrolled mosaic.

تجمع الصور فى هذا النوع من الموزايك دون القيام بأى تعديل أو تصحيح فيها ، حيث يكتفى فقط بحذف نطاقات التداخل بين الصور ، ثم تلصق الصور بعد ذلك بجوار بعضها البعض. وكل ما يجب مراعاته فى هذا النوع من الموزايك هو أن تنماشى المعالم الطبوغرافية مع بعضها البعض. وهذا النوع من الموزايك يعانى من تشوهات عديدة سواء فى مقياس الرسم أو الميل ، كما لا يوجد به أى نقاط للتحكم الأرضى.

٣,٥,١٢: الموزايك شبه المحكم Semi-controlled mosaic.

فى بعض الأحيان يتم تجميع الصور بدون تعديل ولكن بالإستعانة بنقاط الربط الأرضى لاستخدامها عند الحاجة إليها ، ويعرف هذا النوع بالموزايك شبه المضبوط وهو نوع غير شائع إذ يعتبر مرحلة وسطى بين الموزايك المحكم وغير المحكم.



شكل ٦-٣٣: طريقة تجميع الموزايك.

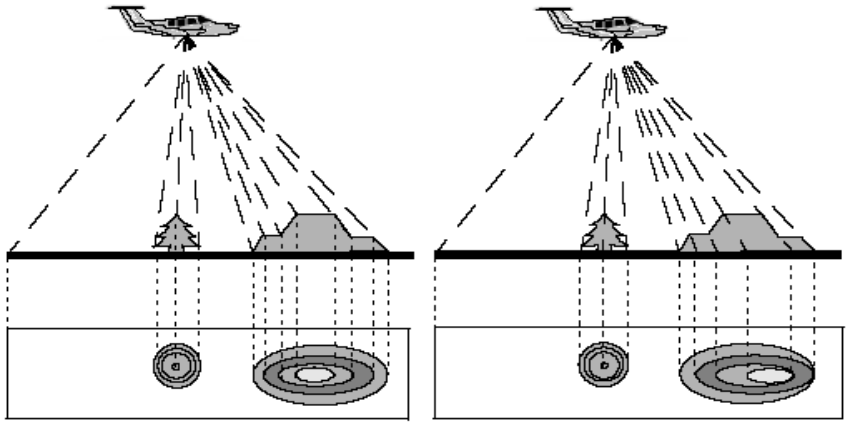
شكل ٦-٣٤: الصور الستة العليا مأخوذة بالترتيب من خطين طيران متتاليين وموضح عليها مراكز الصور، والصورة السفلى تمثل الموزايك الناتج عن تجميع هذه الصور.

٦,١٢: الصور العمودية Orthophotography.

الصور العمودية هى صور رقمية تمثل أحد أشكال منتجات الصور الجوية. وقد عرفت بالصور العمودية نظراً لأن مقياس رسمها ثابت فى جميع أجزائها شأنها فى ذلك شأن الخريطة الطبوغرافية. كما أنها فى ذات الوقت صورة واقعية لتفاصيل سطح الأرض وقت عملية التصوير. ويتم إنشاء الصور العمودية من تجميع الصور الجوية الرأسية أو شبه الرأسية بعد تصحيح أبعادها الهندسية وإزالة التشوهات الناتجة عن الإزاحة التضاريسية وعدسة التصوير وضبط ألوان الصورة وتحسينها. ويختلف هذا النوع من منتجات الصور الجوية عن الموزايك بصفة عامة فى طريقة معالجته التى تتم بدقة شديدة بواسطة الحاسب الآلى وبرامج التحليل الفوتوجرامترى. وفيما مضى كان إعداد الصور العمودية يعتمد على عملية تصحيح الصور الجوية بواسطة جهاز التصحيح المعروف بالـ Orthophotoscope (شكل ٦-٣٥). ويعود الفضل الأول فى اختراع أول جهاز من هذا النوع لكل من لاكمان Lacmann الألمانى وفيربر Ferber الفرنسى مع مطلع ثلاثينات القرن الماضى. وقد صمم فيربر فيما بعد عدة أجيال مختلفة من هذا الجهاز لصالح شركة جالوس Gallus غير أنها لم تستخدم قط فى إنتاج الصور العمودية. وبحلول عام ١٩٥٥ تمكن روسيل بين Russell Bean -والذى كان يعمل فى قسم الخرائط الطبوغرافية بالمساحة الجيولوجية الأمريكية- من اختراع

جهاز مماثل لتصحيح الصور الجوية بهدف استعماله فى إنتاج الخرائط الجيولوجية. ويعد هذا أول استخدام فعلى لجهاز تصحيح الصور الجوية وإنتاج الصور العمودية. كما تستخدم كذلك طريقة عمود البرالاكس parallax فى إعداد الصور العمودية عن طريق حساب فارق الارتفاع بين عدة نقاط متباينة فى الصور الجوية بهدف بناء نماذج الارتفاعات الرقمية التى تستخدم فى تصحيح الإزاحة التضاريسية فى الصور الجوية. ويستخدم فى الوقت الحالى الحاسب الآلى والبرامج الخاصة بتحليل الصور الجوية والفضائية على نطاق واسع فى إعداد الصور العمودية.

إن الهدف الرئيسى من تصحيح الصور الجوية يكمن فى إعداد صورة رقمية صحيحة يتم فيها تحويل ظاهرات السطح من المستوى المنظورى المركزى perspective view إلى المستوى العمودى orthogonal منسوباً إلى منسوب سطح البحر (شكل ٦-٣٦). فقى هذه الحالة تنخفض أو ترتفع ظاهرات الصورة على الصور العمودية الرقمية تبعا لاختلاف منسوب سطحها. وتعتمد عملية التصحيح الهندسى للصورة على التصحيح التباينى differential rectification أو ما يسمى بالتصحيح العمودى orthorectification للصورة الجوية.



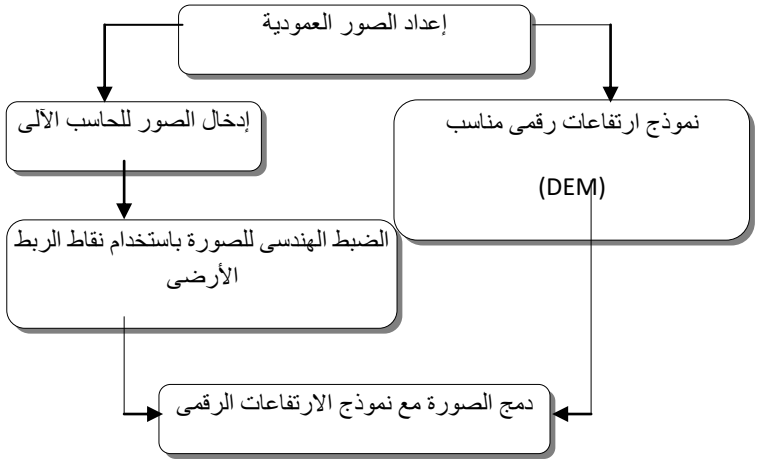
وضع الظاهرات فى الصورة الجوية قبل التصحيح.

وضع الظاهرات فى الصور العمودية بعد التصحيح.

شكل ٦-٣٥: جهاز تصحيح وإعداد الصور العمودية Orthophotoscope.

شكل ٦-٣٦: الفارق بين الصور العمودية والصور الجوية العادية.

وتتطلب عملية إعداد الصور العمودية الرقمية ثلاث مراحل يمكن إيجازها على النحو التالى (شكل ٦-٣٧):



شكل ٦-٣٧: مراحل إعداد الصور العمودية. (بتعديل عن Falkner & Morgan, 2002).

١,٦,١٢: إدخال الصور الجوية للحاسب.

فى حالة استعمال الصور الجوية الورقية العادية فإنه يتم إدخالها للحاسب الآلى بواسطة ماسح ضوئى scanner بدرجة وضوح مناسبة. وتتأثر درجة الوضوح بنوع الماسح الضوئى المستخدم فى ذلك. ويفضل عادة استعمال ماسحات ضوئية بدقة وضوح لاتقل عن ٧ ميكرومتر ، حيث لها القدرة على مسح الصور البانكروماتية وكذلك الملونة وصور الأشعة تحت الحمراء بدرجة وضوح عالية. غير أن ذلك قد يحتاج إلى سعة تخزين أكبر ووقت أطول لمعالجة هذه الصور بواسطة الحاسب.

٢,٦,١٢: نقاط الربط الأرضى Tie or ground control points.

ترجع الحاجة لنقاط الربط الأرضى لاستخدامها فى تصحيح الوضع الجغرافى والهندسى للصورة. حيث يتم بدلالاتها تصحيح تشوهات الصورة وكذلك مقياس الرسم. ويتوقف عدد نقاط الربط الأرضى المستخدمة فى عملية التصحيح على مقياس رسم الصورة ومدى الدقة المطلوب فى إخراج المنتج النهائى ، وكذلك على مقياس الرسم الأصلى لفيلم التصوير وعدد الصور المستخدمة فى عملية تجميع الصور. وليس هناك رقم مطلق يمكن تحديده

لنقاط الربط الأرضى ، وإنما يتوقف عدد نقاط الربط الأرضى المستخدمة فى تصحيح الصورة على خبرة الفنى القائم بإعداد هذه الصور.

٣,٦,١٢: نموذج الارتفاعات الرقمى DEM.

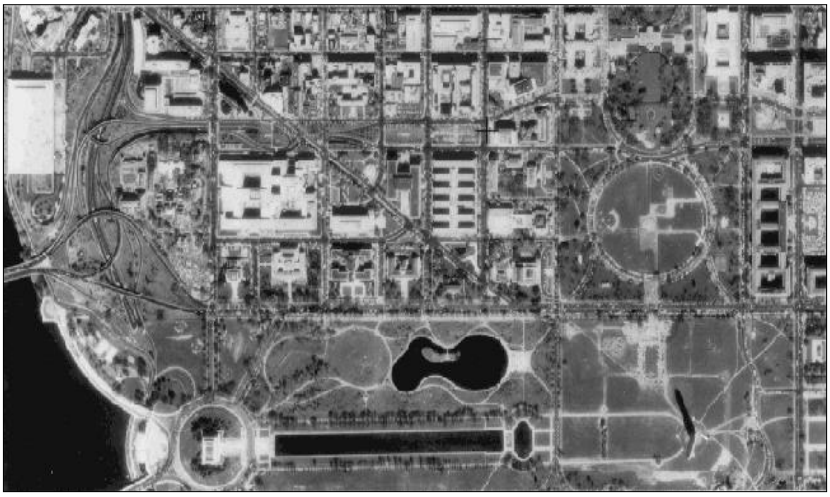
لما كانت الصور الجوية بوجه عام تعانى من وجود إزاحة تضاريسية ، فإن استخدام نماذج الارتفاعات الرقمية ودمجها مع الصور الجوية بواسطة الحاسب الآلى من شأنه أن يعيد ظاهرات السطح لمواضعها الحقيقية. فنماذج الارتفاعات الرقمية تعبر عن مجموعة من الخلايا تحمل كل منها ثلاث قيم تمثل الإحداثيات السينى والصادى والارتفاع (x,y,z) بمعنى أنها ذات إسناد جغرافى دقيق. ولا يشترط فى الواقع وجود عدد كثيف من نقاط الارتفاعات كتلك المطلوبة عند إعداد الخرائط الكنتورية ، ولكن ينبغى أن يكون عدد النقاط كافياً لهذا الغرض بحيث يمكن إظهار نقاط التغير الفجائى فى الانحدار مثل الجروف وجوانب الأودية وحتى المبانى والطرق وغيرها من الظاهرات الأخرى. ويتم عادة إنشاء نموذج الارتفاعات من زوجيات الصور سواء الرقمية أو العادية بواسطة نظام الاستريوبلوتر stereoplotter system أو بواسطة برامج الحاسب الآلى. ثم يتم بعد ذلك دمج بيانات data merging نموذج الارتفاعات الرقمى مع الصورة الجوية بواسطة برامج خاصة تعمل على معالجة وتصحيح الأبعاد الأفقية والرأسية فى كل خلية من خلايا الصورة تبعاً لنموذج الارتفاعات الرقمى ، ومن ثم تؤدى هذه العملية إلى إزالة تأثير الإزاحة التضاريسية من جميع أجزاء الصورة بحيث تكون الصورة عمودية تماما orthogonally accurate. وفى نهاية هذه

المرحلة يتم تحسين ألوان الصورة بيحث تختفى الاختلافات اللونية بين الصور.

وتتميز الخرائط المصورة بصفة عامة بإنخفاض تكاليف إنشاؤها مقارنة بالموزايك والخرائط الطبوغرافية ، وكذلك إلى أنها تحتاج لوقت أقل فى إعدادها. وارتفاع دقتها يجعل منها أحد منتجات الصور الجوية الضرورية التى يعتمد عليها فى إعداد الخرائط بمختلف أنواعها ، كما تستعمل أيضا فى حساب الأطوال والمساحات والارتفاعات بما يلبى حاجة قطاع عريض من المستخدمين. ولذلك ينبغى عند إعدادها الأخذ فى الإعتبار إختيار مقياس رسم مناسب ، وكذلك جودتها ودرجة وضوحها بحيث تكون خالية من السحب أو الظلال. وقد يحتاج بعض من مستخدميها الحصول عليها فى هيئة رقمية digital ، ومن ثم ينبغى إنتاجها أو تصديرها بهيئة أو فورمات يسهل استعماله لغير المتخصصين من المستخدمين ، فلا يعقل أن يضطر مستخدميها إلى شراء برامج خاصة باهظة الثمن ومعقدة الاستخدام من أجل الإطلاع عليها. ويتم إنتاج الخرائط المصورة بالأبيض والأسود أو الألوان الطبيعية وكذلك بالألوان الكاذبة (الأشعة تحت الحمراء) ، ويتم ذلك بدقة

وضوح أرضى عالية عادة ١ متر. ويوضح شكل ٦-٣٨ جزء من صورة عمودية لولاية واشنطن بالولايات المتحدة الأمريكية.

شكل ٦-٣٨: جزء من صورة عمودية لولاية واشنطن بالولايات المتحدة



الأمريكية.

الفصل الخامس : أسس تفسير الصور الجوية

١٣: أسس التفسير البصرى للصور الجوية.

ذكرنا سلفاً أن عملية التفسير البصرى visual interpretation للصور الجوية -خاصة الرأسية منها- تعتمد بشكل رئيسى على خبرة المفسر ، كما تعد عملية شاقة جداً لغير ذوى الخبرة. والصورة الجوية - وكذلك الحال فى الصور الفضائية - تقدم صورة فعلية واقعية لسطح الأرض ، ويتوقف مدى دقة تفاصيل السطح فى الصورة على الدقة المكانية spatial resolution للصورة. وتمر عملية تفسير الصور فى واقع الأمر بعدة مستويات بداية من عملية التعرف الأولى على ظاهرات الصورة وحتى الحصول على معلومات تفصيلية عن ظاهرات السطح وربما ما تحت السطح أيضاً ، ويتم التوصل لمثل هذه المعلومات عادة بشكل غير مباشر من تحليل الصورة. لذلك فإن الخبرة فى مجال التفسير البصرى مطلوبة إلى جانب فهم طبيعة المكان محل الدراسة. ويتطلب فهم طبيعة المكان القيام بإجراء دراسة ميدانية للتأكد من صحة التفسير field truth ، أو قد يعتمد المفسر على التعرف على ظاهرات المكان من خلال الخرائط الطبوغرافية والتقارير الحقلية وغيرها من الدراسات السابقة ، بحيث يمكنه التعرف على ظاهرات الصورة بسهولة. وقد تكون ظاهرات الصورة من البساطة واليسر بحيث لا تستدعى القيام بهذا كله.

والواقع أن معظمنا لديه القدرة على قراءة الصور الفوتوغرافية بوجه عام مثل تلك المعروضة فى الجرائد والصحف اليومية ، غير أن قراءة الصور الجوية يختلف عن هذا من ثلاث نواح هى:

- إن رؤية ظاهرات السطح من أعلى تعد غير مألوفة لكثير من الناس.

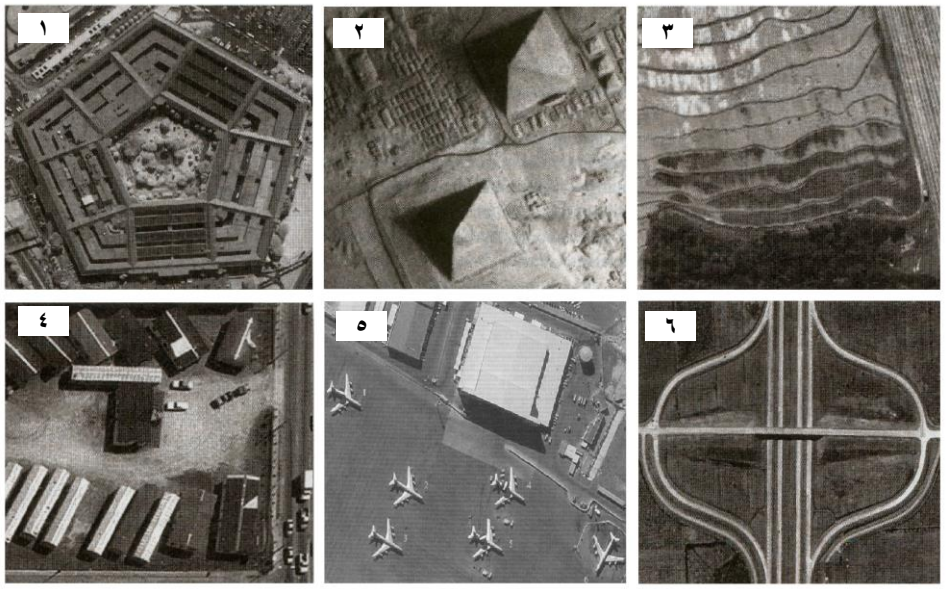
- تتم معظم عمليات التصوير الجوى وكذلك الفضائى فى أطوال موجية متباينة تعتمد على التحليل الرقمى بشكل أكبر من اعتمادها على التحليل البصرى. كما أن التصوير فى مجالات الأشعة تحت الحمراء يتطلب خبرة خاصة عند قراءة وتفسير الصورة لا تتوفر لدى العامة ، إذ يبدو النبات فيها باللون الأحمر أو الوردى مثلاً بينما تبدو المياه بألوان متباينة نتيجة لما تحتويه من مواد عالقة وعضوية.
- يتم تصوير سطح الأرض بمقاييس رسم مختلفة ، ومن ثم تتباين أبعاد وأحجام ظاهرات السطح من صورة لأخرى.

ولا تمثل هذه العوامل الثلاثة السابقة أى مشكلة بالنسبة لذوى الخبرة من المفسرين ، بينما يحتاج المبتدئين لوقت كبير وتدريب شاق من أجل اكتساب مثل هذه الخبرات. وهناك فى الواقع مجموعة من الأسس الأولية التى يجب أخذها فى الإعتبار عند البدء فى تفسير الصور والتى يمكن إيجازها على النحو التالى:

١,١٣: الشكل Shape or morphology.

يقصد بالشكل تلك الهيئة configuration أو الشكل الخارجى outline الذى تبديه ظاهرات السطح أو كل وحدة أرضية على الصورة الجوية. فالشكل يعد من العوامل الهامة فى التعرف الأولى على ظاهرات السطح ، إذ أن كثيراً من ظاهرات السطح خاصة البشرية يمكن التعرف عليها بسهولة مثل مبنى وزارة الدفاع الأمريكية (البنتاجون) والأهرامات والطرق والجسور والسكك الحديدية والسيارات والمبانى والمطارات والحقول الزراعية ..إلخ (شكل ٦-٣٩). كما أنه يمكن تمييز بعض أشكال السطح الطبيعية بسهولة من

الصورة اعتماداً على شكلها العام مثل الأنهار والبحيرات المقتطعة والجزر والكثبان الرملية الهلالية والطولية والبلوتونات الحلقية diaper plutonic or ring complex والقواطع والجدد البازلتية وخطوط السواحل والحافات الصخرية وغيرها.

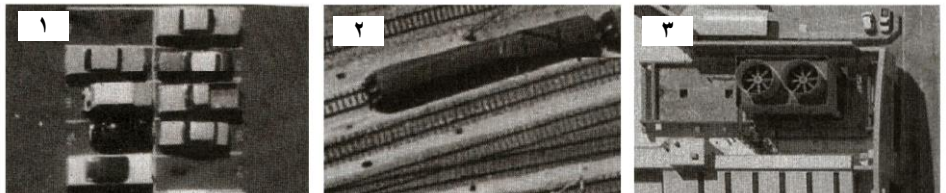


شكل ٦-٣٩: تمييز ظاهرات الصور الجوية بدلالة الشكل. ١. البنتاجون ، ٢. أهرام الجيزة ، ٣. زراعة الأرز فوق المنحدرات بولاية لويزيانا ، ٤. أماكن لانتظار السيارات ، ٥. جزء من مطار الرياض ، ٦. تقاطع طرق.

٢,١٣: الحجم Size.

يقصد بحجم الظاهرة أبعادها الجيومترية كالطول والعرض والارتفاع والمحيط والمساحة كما تظهر على الصورة الجوية. وتفيد دراسة الحجم فى معرفة خصائص الظاهرة المدروسة ، فتباين أبعاد المبانى مثلاً على الصورة قد يفيد فى تصنيفها تبعا لنوع الاستخدام كالسكن والصناعة والفنادق والمبانى الإدارية وغيرها. وقد يستخدم كذلك فى تقدير أعداد السكان داخل المدن وحساب درجة التزاحم من خلال دراسة أبعاد الوحدات السكنية. كما يمكن التعرف على أنواع الشوارع الرئيسية والفرعية بدلالة أبعادها كالطول والعرض. ويمكن أن تصنف الظاهرات نسبيا تبعا لأحجامها حيث تصنف على أنها صغيرة الحجم أو متوسطة أو كبيرة الحجم وذلك بهدف المقارنة بين الظاهرات المتشابهة. ويفضل عادة الاعتماد على مقياس رسم الصورة فى حساب أبعاد الظاهرات. أما عندما يتعذر معرفة مقياس رسم الصورة فإنه يمكن بدلالة ظاهرات معينة فى الصورة تقدير أبعاد ظاهرات أخرى مجهولة ، فمثلا يمكن بدلالة سيارة موجودة فى الصورة أن نقدر عرض الشارع أوأبعاد الظاهرات الأخرى المجاورة لها بناء على خلفيتنا السابقة بأبعاد السيارة (شكل ٦-٤٠).

ولما كانت الصور الجوية تلتقط بمقاييس رسم مختلفة ، فإن دراسة حجم الظاهرة تتطلب بداية الأخذ فى الإعتبار تأثير مقياس الرسم على حجم الظاهرة. كما ينبغى أيضاً معرفة الموقع الذى تشغله الظاهرة من الصورة ، فالظاهرات الموجودة على أطراف الصورة عادة ما تتأثر بالتشوه الإشعاعى الناتج عن الإسقاط المركزى لكاميرا التصوير وكذلك بالإزاحة التضاريسية.

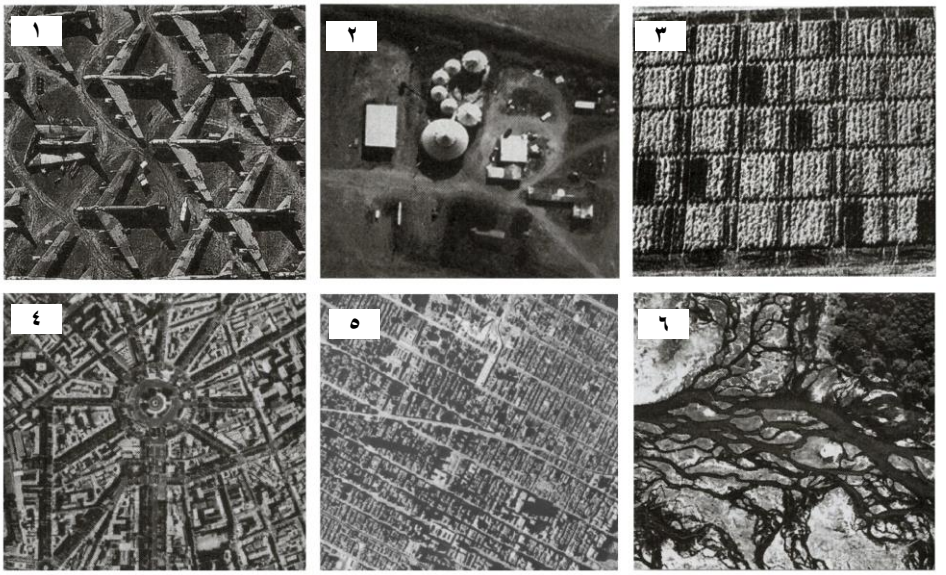


شكل ٦-٤٠: إدراك حجم الظاهرة من الصور الجوية. ١. مجموعة من السيارات ، ٢. قطار سكة حديد ، ٣. حساب حجم المبنى بدلالة حجم السيارتين المجاورتين أو مروحيات جهاز التكيف فوق السطح ، ٤. كثبان رملية هلالية (برخان) متباينة الحجم ، ٥. حمام سباحة ، ٦. مركز لسيارات النقل.

٣,١٣: النمط Pattern.

يشير النمط إلى الترتيب المكانى spatial arrangement أو الطريقة التى تنتظم وتتكرر repetition بها ظاهرات السطح فى الصورة. فظاهرات الصورة إما أن تكون موزعة بانتظام أو بشكل عشوائى ، حيث يشير الانتظام عادة إلى وجود تدخل بشرى فى نمط توزيع الظاهرة. بينما يشير نمط التوزيع العشوائى إلى التوزيع الطبيعى أو التلقائى. فمثلاً انتظام نمط توزيع الأشجار يشير إلى كونها منطقة حدائق أو غابات أعيد تشجيرها ، بينما نمط التوزيع

العشوائى للأشجار يشير إلى مناطق الغابات الطبيعية. ويمكن تصنيف نمط توزيع الظاهرات تبعاً للترتيب المكانى أو الشكل الهندسى الذى تبديه الظاهرة كالمثلثات مثل ترتيب الطائرات داخل المطارات ، والدوائر مثل بعض المبانى الإسطوانية ، والمربعات مثل حدود الأراضى الزراعية. وقد تتخذ أنماطاً أخرى مثل النمط الإشعاعى كما هو الحال فى شوارع مدينة باريس ، والمتوازى كما هو الحال فى شوارع مدينة نيويورك أو النمط الحلقى...إلخ (شكل ٦-٤١).

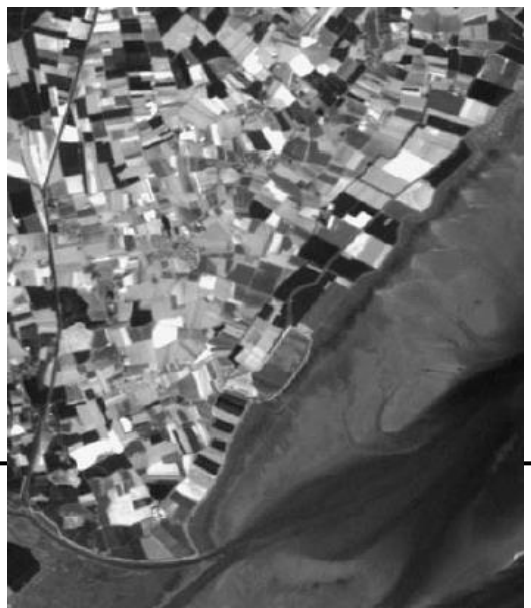


شكل ٦-٤١: بعض من أنماط ظاهرات السطح كما تظهر على الصور الجوية. ١. نمط منتظم مثلث الشكل ، ٢. نمط إسطوانى لبعض المنازل ، ٣. نمط مربع يوضح حدود الأراضى الزراعية ، ٤. نمط إشعاعى "وسط مدينة باريس" ، ٥. نمط متوازي "مدينة نيويورك" ، ٦. نمط عشوائى لبعض الأودية المضفرة.

٤,١٣: درجات اللون Tone or hue.

يقصد بدرجات اللون درجات البريق brightness الذى تبديه كل ظاهرة من ظاهرات السطح ، والذى يشير إلى تباين خصائص الوحدات الأرضية. وفى حالة الصور الجوية البانكروماتية فإنه ينبغى التمييز بين درجات اللون الرمادى المختلفة على الصورة. وعادة ما تزود الصور البانكروماتية التى تنتجها المساحة الجيولوجية الأمريكية بمقياس لدرجات اللون الرمادى يساعد على تمييز درجات الألون على الصورة ، بينما تخلو الصور الجوية المصرية من هذا المقياس مع الأسف. أما الصور الملونة فإن تدرج الألوان فيها يكون أكثر وضوحاً من الصور البانكروماتية. وفى حالة صور الأشعة تحت الحمراء فإنه ينبغى أن يكون مفسر الصورة ملماً بدلالات الألوان المختلفة ، ولكى يتسنى له ذلك يجب أن يكون لديه معرفة مسبقة بمنطقة الدراسة أو القيام برحلات استكشافية للمكان ، خاصة وأن ظاهرات السطح تبدو بألوان كاذبة أو مضللة تختلف كلية عن ألوانها الطبيعية.

عموما يُستخدم تدرج الألوان فى تصنيف المحاصيل الزراعية تبعاً لأنواعها أو حسب مراحلها العمرية (شكل ٦-٤٢) ، كما يستخدم فى تصنيفات التربة وتحديد محتواها من الرطوبة والأملاح. كذلك يمكن الاعتماد على تدرج الألوان فى دراسة المياه الضحلة والأراضى الساحلية الواطئة وما



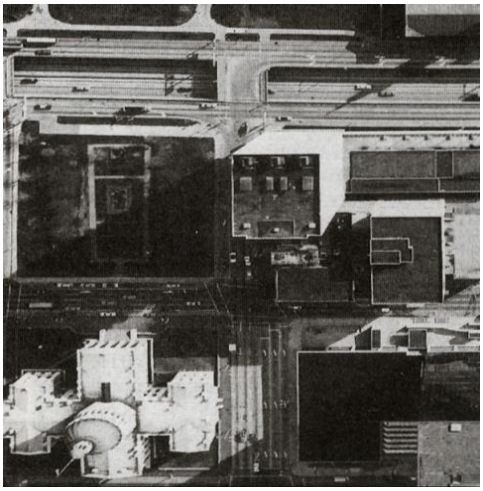
يرتبط بها من ظاهرات كالسبخات واللاجونات المالحة...إلخ.

شكل ٦-٤١: تمييز المحاصيل الزراعية وأعماق المياه بدلالة درجات اللون.

والجدير بالذكر أن درجات الألوان قد تختلف بين صورة وأخرى حتى وإن كانتا يمثلان وحدة أرضية واحدة ، ويعد هذا بصفة رئيسية نتيجة طبيعية لاختلاف زاوية سقوط أشعة الشمس على الظاهرة وكذلك وقت التصوير. الأمر الذى قد يجعل بحيرة مثلاً تبدو بيضاء تماما فى صورة إذ تعكس كل ما تتلقاه من أشعة ، بينما تبدو نفس البحيرة سوداء تماماً على صورة أخرى. من ناحية أخرى تتأثر درجات اللون كذلك بظلال الظاهرات المرتفعة.

٥,١٣: الظلال Shadow.

للظلال تأثير سلبى وأخر إيجابى على الصورة الجوية. أما التأثير السلبى للظلال - وهو الغالب فى الصور الجوية - فيتمثل فى كون الظلال تحجب رؤية بعض الظاهرات جزئياً أو كلياً ، وقد تساعد عمليات تحسين ألوان الصورة بعض الشئ فى إظهار المناطق الواقعة تحت تأثير الظل لا سيما فى حالة الظلال الخفيفة. أما التأثير الإيجابى للظلال فيتمثل فى القدرة على تحديد المظهر العام لبعض الظاهرات مثل أهرامات الجيزة وفوهات البراكين وحفر الإذابة الكاريستية ومداخل الكهوف وحدود المبانى بدلالة الظل (٦-٤٣). كما تساعد الظلال فى حساب ارتفاع ظاهرات السطح كما أوضحنا من قبل.

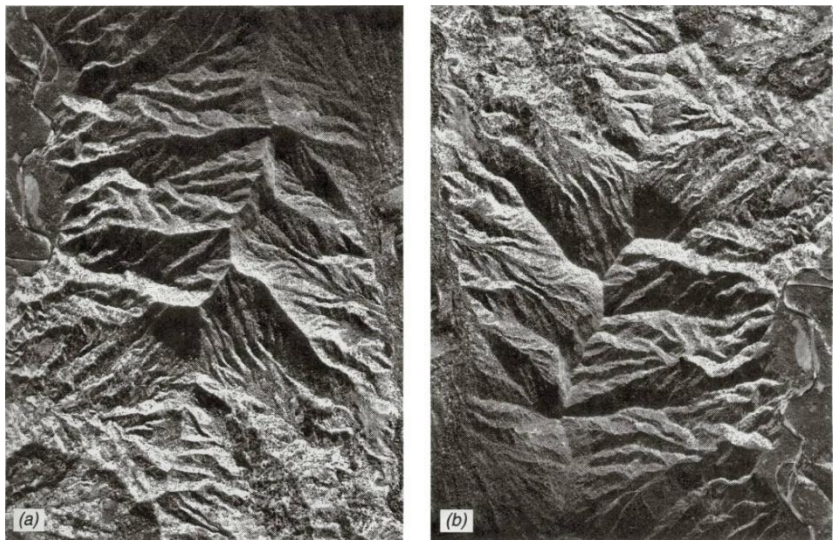


شكل ٦-٤٣: دور الظلال فى تحديد الشكل العام لظاهرات السطح مثل الأنفاق والمبانى.

ويجب على مفسر الصورة أن يأخذ فى حسبانه الاتجاه الصحيح لرؤية الظل ، إذ أن رؤية الظل من اتجاه معاكس تؤدى إلى تفسير خاطئ لظاهرات السطح خاصة الطبيعية. ويوضح شكل (٦-٤٤) أثر اختلاف اتجاه الظل على تفسير

تضاريس جزيرة كاواى أحد جزر هاواى ، ففى الصورة الأولى حيث الظل فى الاتجاه الصحيح بالنسبة للمشاهد تظهر تضاريس السطح الموجبة أو المرتفعة شديدة التقطيع. أما الصورة الثانية نجد أن الظل فى الاتجاه المعاكس ومن ثم تظهر طبوغرافية المكان على أنها تضاريس سالبة أو منخفضة.

بوجه عام يفضل أن تتم عمليات التصوير الجوى فى وقت الظهيرة عندما تكون أشعة الشمس عمودية تماماً على سطح الأرض ، ويعمل هذا على تقليل الظلال فى الصورة إلى أدنى درجة ممكنة بحيث لا تطغى على باقى ظاهرات الصورة وتقلل من جودة الصورة.



شكل ٦-٤٤: أثر اختلاف اتجاه الظل على تفسير ظاهرات السطح فى جزيرة كاواى. الصورة اليسرى الظل فى الاتجاه الصحيح بالنسبة للمشاهد حيث تظهر التضاريس الموجبة ، بينما الظل فى الصورة اليمنى فى الإتجاه المعاكس ومن ثم تظهر التضاريس سالبة.

٦,١٣: النسيج أو القوام Texture.

يشير النسيج إلى مجموعة العلاقات التى تظهرها أفراد الظاهرة على الصورة الجوية ، ويعبر بصفة رئيسية عن مدى استمرارية أو تغير ألوان أفراد الظاهرة الواحدة. ويصنف نسيج ظاهرات الصورة على أنه نسيج ناعم smooth texture أو نسيج خشن rough texture ، مستوى even أو متقطع uneven ، بقعى speckled أو حبيبى granular ، خطى linear أو مشوش wooly ، وذلك بمجرد النظر إليه تبعاً لتغير درجات اللون أو خشونة السطح فى الصورة. فأشجار الغابات الكثيفة ذات التيجان المخروطية عادة ما تعكس نسيجاً خشناً عن نباتات الحقول الزراعية. كما

تعكس المياه نسيجا ناعماً عن الغابات المجاورة ذات النسيج الخشن نسبياً (شكل ٦-٤٥). والمفسر الخبير لديه القدرة على تصنيف نسيج كل ظاهرة على حده بمجرد النظر إليه ، بينما يحتاج المبتدئين إلى تجهيز وإعداد مفاتيح للتفسير للرجوع إليها عند تفسير الظاهرات.

شكل ٦-٤٥: تميز ظاهرات الصورة تبعا لنسيجها.

وعند توصيف نسيج ظاهرات السطح من الصور الجوية وحتى الفضائية فإنه ينبغى على المفسر أن ياخذ فى حسبانه ما يلى:

- أن توصيف النسيج الطبوغرافى لظاهرات السطح يعد فى الواقع توصيف نسبى ، أى يتوقف على مستوى المقارنة بين ظاهرتين أو أكثر.
- كما أن توصيف النسيج يتوقف على مقياس رسم الصورة ، فبينما تبدو ظاهرة ما خشنة النسيج على صورة كبيرة المقياس ، قد تبدو نفس الظاهرة بنسيج ناعم على صورة أخرى ذات مقياس رسم صغير. وتعد هذه النقطة فى

غاية الأهمية إذ تتطلب من مفسر الصور أن يكون على دراية كافية بظروف منطقة الدراسة وأن يكون لديه الحس الكافى بتأثير مقياس الرسم على درجة وضوح الظاهرات على الصورة.

٧,١٣: الموضع Site.

يمثل تعريف الموضع مشكلة رئيسية لغير المتخصصين فى علوم الأرض ، إذ يخلط الكثيرون بين كل من الموضع site والموقع location. ونعنى بالموضع ذلك الحيز الجغرافى الذى تشغله الظاهرة بكافة خصائصه الطبيعية كالانحدار والارتفاع والبشرية أيضاً. أما الموقع الجغرافى فيشير إلى موقع الظاهرة بالنسبة لما يجاورها من ظاهرات أخرى ، كأن نقول أن جامعة عين شمس يحدها من الشمال هيئة الأرصاد المصرية ومن الجنوب شارع امتداد رمسيس وميدان العباسية ومن الشرق شارع الخليفة المآمون ومن الغرب مترو مصر الجديدة.

إن تحديد ودراسة موضع الظاهرة من الأمور الهامة فى تفسير الصور الجوية بوجه عام. فخصائص الموضع تقودنا إلى استنتاج معلومات لا يمكن التوصل إليها مباشرة من الصورة ، غير أن مدى دقة هذه المعلومات إنما يتوقف على خبرة المفسر بدرجة كبيرة ودرجة إلمامه ومعرفته بخصائص منطقة الدراسة وطبيعة الظاهرة المدروسة. فمثلاً يمكن الاستدلال من وجود تجمعات نباتية فى منطقة صحراوية على ارتفاع منسوب الماء الجوفى

وصلاحية التربة للزراعة. كما يمكن من خلال دراسة التراكيب الجيولوجية كالانكسارات والالتواءات والفواصل الغائرة وخطوط التصريف المائى التعرف على مناطق تجمع المياه وتحديد أنسب المواضع لحفر الأبار السطحية. ويتطلب الوصول لمثل هذه المعلومات إلمام المفسر بأساسيات بعض العلوم كالجيولوجيا والجيومورفولوجيا والهيدرولوجيا. ثم عليه بعد ذلك أن يدعم ما توصل إليه من معلومات بالدراسة الحقلية أو الميدانية field truth ولا سيما المعملية أيضاً إذا ما استدعت الضرورة.

٨,١٣: التلازم Association.

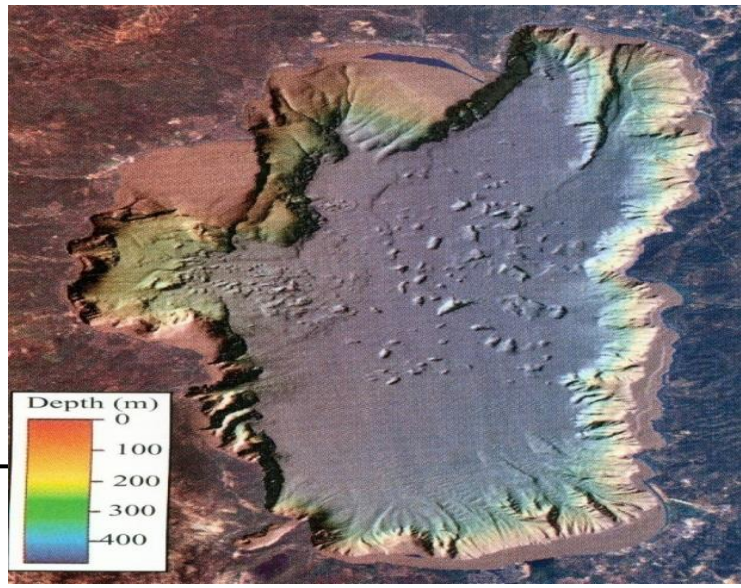
يقصد بذلك ارتباط بعض الظاهرات بظاهرات أخرى مجاورة لها فى الحيز الجغرافى. بمعنى أنه عندما نجد ظاهرة ما فى الصورة فإنه لابد وأن نتوقع وجود ظاهرة أخرى ملازمة لها وعلى مقربة منها. فمثلاً ترتبط الأقاليم الصناعية بوجود شبكة ضخمة من السكك الحديدية لنقل المنتجات والمعدات الصناعية (٦-٤٦). كما تشغل المراكز التجارية الكبرى مبان ضخمة فى وسط المدينة ترتبط بتركز وسائل النقل والمواصلات ووجود مواقف (جراجات) كبرى لوقوف سيارات العملاء. وبالمثل ترتبط الحقول الزراعية بالتربات الخصبة جيدة الصرف وتكون واقعة على مقربة من مصادر مياه الرى مثل الترع والقنوات الرئيسية ، كما ترتبط أحواض استخراج الملح باللاجونات المالحة وسواحل البحار الخ ويحتاج ادراك مثل هذه العلاقات

إلى رؤية منطقية من مفسر الصورة ، فلا يعقل مثلاً أن يتم تصنيف المساحات الخضراء فى وسط المدينة على أنها حقول زراعية ، أو مواقف السيارات على أنها ورش لتصنيع وإصلاح السيارات.

شكل ٦-٤٦: المنطقة الصناعية بالقرب من كلامازو بولاية متشجن. ويلاحظ فيها التلازم الشديد بين المصانع والطرق السريعة والسكة الحديد ومنطقة إعدام السيارات ، إلى جانب تواجد أحواض الترسيب المائى بالقرب من المجرى المائى.

٩,١٣: حساب الارتفاعات والأعماق Heights and depths.

يعد حساب وتقدير الارتفاعات من العناصر الهامة فى تفسير الصور الجوية. فعملية التفسير تتم أساسا من خلال الرؤية المجسمة لظاهرات السطح بواسطة أجهزة خاصة تعرف بالاستريوسكوب والتى سوف نعرض لها فيما بعد. وتقدير الارتفاع بين ظاهرات السطح يفيد فى قراءة وتفسير الصورة الجوية واستنتاج معلومات بشكل غير مباشر من الصورة مثل حساب ارتفاع المبانى السكنية وتقدير عدد الأدوار التى قد تحتويها وكذلك تقدير عدد السكان ودرجة التزاحم. كما تفيد دراسة الارتفاعات فى دراسة أشكال السطح وحساب الانحدار وتحديد المناطق المناسبة لإقامة منشأت بعينها وتحديد المسارات المناسبة لشق الترع والقنوات والطرق وغيرها. كما يفيد فى دراسة الأخطار الطبيعة فى تحديد الأراضى المعرضة للغمر بفعل مياه الفيضانات أو تلك المعرضة لحركة مواد المنحدرات. كما تستعمل صور السونار فى إنشاء خرائط الأعماق bathymetric maps للبحيرات والبحار والمحيطات والتى تفيد فى دراسة أشكال السطح الغارقة وقيعان البحار والمحيطات (شكل ٦-٤٧).



شكل ٦-٤٧: نموذج رقمى لأعماق بحيرة تاهوى مستخرج من صور الليدار.

١٠,١٣: الزمن Time.

تفيد دراسة الصور المتتابعة زمنياً فى متابعة التغيرات change detection التى تطرأ على مكان ما من سطح الأرض. وتفيد مثل هذه الصور فى متابعة النمو العمرانى وتوسع المدن على مراحل زمنية مختلفة (شكل ٦-٤٨) ، وكذلك تغيرات الغطاء النباتى ومتابعة الأخطار الطبيعية مثل تآكل الشواطئ والفيضانات وحركة المنحدرات وزحف الرمال وغيرها.

شكل ٦-٤٨: النمو العمرانى لمدينة اونتاريو خلال أعوام ١٩٨٢-١٩٨٤-١٩٩٦.

١٤: إعداد الصورة للتفسير.

بداية تحتاج عملية تجهيز الصورة وإعدادها للتفسير إلى جمع بيانات ومعلومات تتعلق بالأقليم أو المكان الذى سوف يتم دراسته من خلال الصور الجوية سواءا من الخرائط أو الميدان ، إلى جانب معرفة معلومات أخرى تتعلق بطبيعة وخصائص الظاهرات التى تتضمنها الصور. ويستدعى هذا وجود عدد من الأدوات المكتبية وغيرها من الأدوات الأخرى التى تساعد على قراءة الصور الجوية وتحليلها.

١,١٤:العوامل الفوتوغرافية المؤثرة علي التفسير:

Phetographic Parammeters Affecting Interpertation

بغض النظر عن مهارات الشخص الذي سيقوم بتفسير الصور أو الطرق المستخدمة في إبصار الصور الفوتوغرافية ، فإن كمية المعلومات التي يمكن الحصول عليها تعتمد بشكل كبير علي الصورة الفوتوغرافية . وعلي العوامل المؤثرة علي الصور الجوية وهي:

أ) هندسة الصورة (إتجاه محور الكاميرا).
ب) تركيب المرشح.
ج) مقياس الصورة.
د) إختلاف أنواع الصور المنتجة.
ه) وقت التصوير أثناء النهار.
و) موسم التصوير.
ز) الحدود السياسية.
ح) خط الطيران.

كل هذه المعاملات ثابتة نسبياً ويمكن السيطرة عليها بسهولة إلا أن الصور الجوية تتأثر بعوامل طبيعية متغيرة مثل لون الجسم المراد تصويره، وموقع الجسم بالنسبة لزاوية الشمس، وكمية الضباب الموجودة في الجو، ويمكن تعديل العوامل الثابتة لجعلها ملائمة للتطبيقات التي سوف تستعمل بها الصور، وبالتالي ، فإنها تعتبر مؤشر لإختيار الصور وإتخاذ القرار بالتصوير الجوي.

أ) هندسة الصورة الجوية : Geometry of Image

صنفت الصور الجوية اعتماداً علي إتجاه محور آلة التصوير إلي الصور جوية رأسية وصور جوية مائلة ، وكلا النوعين يستعمل في التحري الموقعي.

إلا أن الصور الجوية الرأسية تستخدم علي نطاق أوسع وذلك لأن الصور الجوية المائلة لا يمكن استخدامها بسهولة في المسح التفصيلي لقلة دقتها، لذا فإن التغطية المتوافرة تميل الي محدوديتها. لأن المعلومات التي يمكن الحصول عليها من الصور الجوية المائلة رغم كونها مفيدة جداً لكنها أقل شمولية بالمقارنة مع المعلومات التي يمكن الحصول عليها من الصور الجوية الرأسية وذلك للأسباب الآتية:

- التغير في المقياس عبر الصورة قد يكون سريعاً في حالة الصور الجوية كبيرة الميل وقد يكون التغير معقداً في المناطق ذات الارتفاعات العالية. والمناطق المضرسة بشكل عام مثل ظهور اشكال أكبر من حجمها الطبيعي.
- التشوه الحاصل علي الأشكال في الصور الجوية المائلة يمكن أن يعطي انطباعاً خاطئاً عن بعض الظواهر المهمة.
- يمكن أن تختفي مساحات واسعة من الأرض عن النظر بسبب التلال (الأرض الميته).
- صعوبة إنتاج صور موزاييك بإستخدام الصور الجوية المائلة وفي أحيان كثيرة تصبح مستحيلة ويرجع ذلك لتأثير ميلان الصور علي دقتها خاصة هوامشها.

علي الرغم من عيوب الصور المائلة إلا أنها أكثر سهولة في التفسير للمفسر عديم الخبرة حيث تعطي رؤية مالوفة أكثر من الصور الرأسية كما أن الحصول علي الصور المائلة أرخص في التكلفة حيث يمكن الحصول عليها بواسطة كاميرات عادية (٣٥ملم) حيث تثبت في الطائرة بشكل يقلل من اهتزازها كما إن الكاميرات الرقمية ساهمت في التصوير الجوي بشكل أرخص وسريع.

ب) تركيب المرشح: Fillter Combination

يلعب المرشح دورا في زيادة الرؤية حيث تشمل : مرشحات التصوير للصور الأبيض والأسود ، ومرشحات لإستخدامات الألوان المختلفة وقد وجد أن الصور الملونة أفضل حيث يمكن للعين تمييزها لظاهرات بقدرة ١٠٠ مرة عن الصور الأبيض والأسود كما أنها تعطي نتائج جيدة في التفسير الجيولوجي، وهي تبين الحرات فيما بين المدينة والقصيم. كما تستخدم صور ملونة في موجات مختلفة في الحمراء الي القريبة من الحمراء في التعرف علي أمراض النبات وكذلك في دراسة تصريف المياه في الوديان والأنهار وفي دراسة التركيب المحصولي.

ملحوظة : علي الرغم من أهمية للصور الملونة إلا أن حواف الظاهرات تكون أقل تحديداً من الصور الأبيض والأسود.

ج) المقياس:

يؤثر علي مقدار التفاصيل في الصور الجوية ويتوقف المقياس علي حسب إرتفاعات الأراضي ويتناسب مقياس رسم الخرائط الطبوغرافية أو التفصيلية (الكدسترالية) طردياً مع مقياس الصور الجوية.

د) اختلاف أنواع الصور :

هنالك عدة أنواع من الصور سبق الإشارة اليها وهي ٢٣ *٢٣ سم ، ١٨*١٨سم وهذه الصور تطبع علي ورق، ونوع منها يطبع علي شفاف وهي تُعد جيدة في التفسير خاصةً لو كانت علي ورق ، ونوع منها يطبع علي شفاف وهي تُعد جيدة في التفسير خاصةً لو كانت بالألوان إلا أن الصور الشفافة أقل تداولاً.

ه) وقت التصوير:

يلعب وقت التصوير دوراً في التأثير علي الظاهرات الأرضية طبقاً لوضع الشمس حيث يؤثر وضعها علي كمية الظل ففي وقت الظهر لا يوجد ظل بينما في الصباح يزيد الظل ويقل كلما اقتربنا لوقت الظهر ويبدأ الظل في الزيادة بالإقتراب من الغروب.

و) تعرض الطائرة للإنحراف:

نتيجة لظروف الهواء في طبقات الجو العليا حيث يصبح ثبات الطائرة أمراً صعباً وتكون الريح متعامدة علي إتجاه هبوبها علي خد الطيران مما يدفع الطائرة بعيداً عن المسار المحدد وبالتالي تصبح خطوط الطيران متعرجة.

ذ) الحدود السياسية :

قد تؤثر أحياناً في عملية التصوير مثلما حدث مع المنطقة المحصورة فيما بين الشيخ زويد ورفح في سيناء بمصر حيث كان لخط الحدود أثر في تداخل خطوط الطيران بشكل أدي لتصوير المنطقة الواحدة في أكثر من ثلاثة خطوط طيران والسبب قربها من الأراضي المحتلة.

ح) خطة الطيران :

تُعد خطة الطيران من العمليات المهمة وتتوقف علي مساحة وشكل المنطقة .

ويتم الإختيار بين طريقتين :

- **الطريقة الأولي :** الطيران في اتجاه واحد وفيه يتم التصوير من اتجاه واحد وبالتالي تخضع الصورة لظروف واحدة من ناحية حركة التيارات الهوائية، وزاوية ميل الشمس وإنعكاس أشعتها، ويتطلب هذا أن تحتفظ الطائرة بأفقيتها وسرعتها وإرتفاعها، ويؤخذ علي هذه الطريقة ارتفاع تكلفتها .

- **الطريقة الثانية :** وفيها الطيران يكون ذهاباً وإياباً وهذه الطريقة أقل في التكلفة وأقصر في الوقت، وتقتصر علي وقت استقرار الجو، وعلي أن يزيد إرتفاع الطائرة عن ١٠٠٠٠قدم.

ومما سبق نجد أن عملية التفسير للصور الجوية تتأثر بالمواد المستخدمة في طباعة الصور وبالمعدات المتاحة للتفسير إلي جانب الهدف من التفسير وإحتياجات المفسر من الصورة فعلي سبيل المثال هناك من يعتم بدراسة أماكن السكن والتسلية والحدائق وأماكن تواجد المياه، والبعض الآخريهتم بدراسة خرائط الأراضي وأنواع التربة والغابات ، وهناك من يهتم بالمدن وضواحيها والبعض الآخر يهتم بإستخدام الأرض سواء المدني أو الريفي وكلها تحتاج إلي وضع حدود بين المساحات المختلفة وهي بالنسبة للمفسر مشكلة كبيرة في وضع الحدود خاصةً في المناطق الإنتقالية المتدرجة بين المساحات بعضها البعض خاصةً في المناطقة الصحراوية والغابات والمناطق العشبية.

ويبرز هنا اتجاهيين في غاية الأهمية:

- **الإتجاه الأول:** التعرف علي نظام التصنيف في فصل الملامح المختلفة أي التعرف المسبق علي بعض الملامح فيمكن منه القياس والمقارنة بما هو موجود في منطقة الدراسة مع تحديد توصيف للشكل من حيث الارتفاع والمظهر فإذا قلنا تل فيجب أن نرفق به ما هو المقصود بالتل وكذلك إذا قلنا غابة كثيفة فيجب أن يختلف تعريفنا عن الغابة المفتوحة.

- **والإتجاه الثاني** : رسم الظاهرات العامة التي تشغل المنطقة والأكثر إنتشاراً حتي في خرائط إستخدام الأرض، والتي تتنوع حسب الظاهرة التي يتم دراستها فيمكن إنشاء خرائط استخدام الأرض للمدن ومثلها لريف.

٢,١٤: الأدوات المساعدة.

يمكن حصر أهم الأدوات المطلوبة لتفسير الصور الجوية على النحو التالى:

- شفافات بلاستيك transparent paper حيث تثبت على الصورة للرسم عليها وذلك لتجنب الرسم على الصورة مباشرة.
- أقلام حبر ملونة من النوع المقاوم للماء waterproof لاستخدامها فى الرسم. ويفضل عادة استعمال الأقلام ذات السنون الرفيعة ٠,٢ أو ٠,٣ مم.
- ممحاة.
- مسطرة بطول ٣٠ أو ٥٠ سم لاستخدامها فى القياس من الصور.
- لاصق لتثبيت الشفافات فوق الصور الجوية. ويفضل استعمال اللاصق من نوع magic tape بحيث لا يحجب الرؤية.
- لاصق أخر من نوع Cotch masking لتثبيت الصور حيث يسهل إزالته بعد الاستخدام دون إلحاق أى ضرر بالصورة الجوية.
- علبة ألوان رصاص لاستخدامها فى تلوين المساحات المختلفة التى يتم التعرف عليها من الصورة.
- منقلة مستديرة ٣٦٠ درجة ومثلث قائم الزاوية.

- سكينة حادة للقطع cuter blades لاستخدامها فى إعداد المجسمات الثنائية والثلاثية وكذلك عمل الموزايك.
- جهاز الرؤية المجسمة (استريوسكوب).
- منضدة رسم ويفضل الضوئية light table.
- وضع مفتاح للرموز والألوان المستخدمة فى تفسير الظاهرات ، ويفضل استعمال الرموز والاصطلاحات المتعارف عليها فى كل مجال.

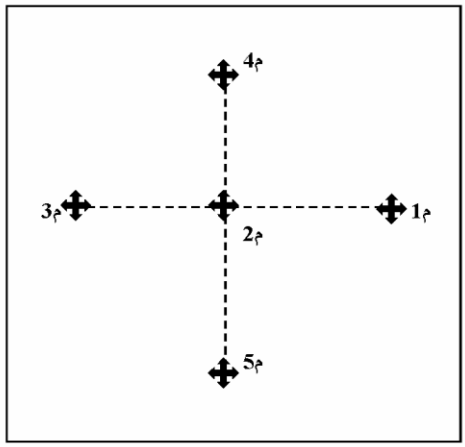
٢,١٤: تجهيز الصورة.

يتطلب تفسير الصور الجوية بواسطة جهاز الاستريوسكوب تجهيز الصور بإعداد المجسمات الثنائية Stereopair أو الثلاثية Stereotriplt بالطريقة التى سبق وأشرنا إليها من قبل. غير أن كثيراً من مفسرى الصور الجوية لا يلجأون إلى تقطيع الصور من أجل إعداد هذه المجسمات ، كما أن إعدادها يحتاج إلى وقت وجهد إضافى. ومن ثم فهم يفضلون تفسير الصور مباشرة بعد تحديد المنطقة الفعالة effective area أو منطقة العمل فيها ، وهى المنطقة الوسطى من كل صورة التى لا يتكرر كل ما فيها من ظاهرات فى الصورتين المتجاورتين ، وبذلك يتجنب مفسر الصور تفسير الأجزاء المتكررة من الصورة. كما أن المنطقة الوسطى هى أكثر أجزاء الصورة ملائمة للتفسير نظرا لأنها قريبة من المركز مما يقلل من أثر الإزاحة التضاريسية وتشوهات مقياس الرسم ، ومن ثم يمكن الاعتماد عليها فى استخراج قياسات كمية لظاهرات السطح. ويتم تحديد المنطقة الفعالة من الصورة على النحو التالى:

- تحديد مركز الصورة موضع الاهتمام بدلالة علامات الإسناد (أنظر شكل ٦-١٤).
- نقل مركزى الصورة السابقة عليها والصورة التالية لها فى الترتيب داخل خط الطيران بدقة متناهية. ويفضل أن يتم ذلك أسفل جهاز الاستريوسكوب بعد تجهيزه للإستخدام ، بحيث يتم نقل كل مركز فى موقعه بالضبط وعلى نفس ارتفاعه.
- بعد إتمام نقل مراكز الصور يكون لدينا على الصورة ثلاثة مراكز هى: الأول من اليمين يشير إلى مركز الصورة السابقة لها فى الترتيب ، يليه فى الوسط مركز الصورة الوسطى نفسها ، ثم إلى اليسار مركز الصورة التالية لها فى الترتيب داخل خط الطيران.
- يتم توصيل المركز الأول والأخير على الصورة بخط مستقيم حتى وإن لم يمر بمركز الصورة الوسطى. ويتم ذلك عادة بقلم ألوان رصاص أو شمع بحيث يسهل إزالته بعد ذلك. وعادة لا تقع الثلاثة مراكز على خط واحد خاصة فى المناطق شديدة التضرس نتيجة للإزاحة التضاريسية. وجدير بالذكر أنه لو وصلنا بين كل مركز والمركز التالى له بخط مستقيم فإننا بذلك نكون قد حددنا خط الطيران.
- يتم تنصيف المسافة بين المركز الأول والمركز الأوسط ، وكذلك بين المركز الأوسط والمركز الأيسر.
- يتم إقامة عمودين عند نقاط التنصيف التى حددناها فى الخطوة السابقة. ، حيث تمثل المنطقة المحصورة بين العمودين المنطقة الفعالة من الصورة.

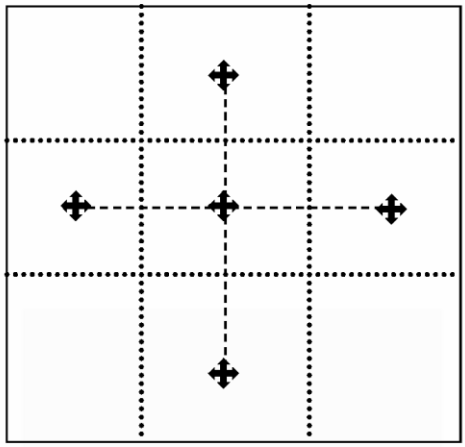
وهناك من المفسرين من يقوم كذلك بنقل مراكز الصور المتداخلة جانبياً مع الصورة موضع الاهتمام فى حالة توافر غطاء كامل من الصور الجوية.

حيث يتم نقل مركز الصورة السابقة عليها فى خط الطيران وكذلك التالية لها فى خط الطيران ، بحيث يكونان أعلى وأسفل مركز الصورة نفسها. يتم التوصيل بينهما بخط مستقيم ، ثم تنصف المسافة بين المركز العلوى ومركز الصورة ، وكذلك بين المركز السفلى ومركز الصورة بنفس الطريقة السابقة ، حيث يتم إقامة عمودين عند نقاط التنصيف. ومن تقاطع الأعمدة الأربعة التى رسمناها نكون حددنا المنطقة الفعالة الوسطى فى الصورة (شكل ٦-٤٩).



أ. نقل المراكز المجاورة:

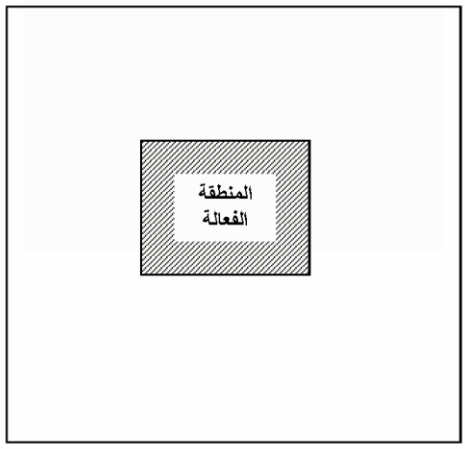
م١ مركز الصورة السابقة داخل خط الطيران.



م٢ مركز الصورة الوسطى موضع الاهتمام.

م٣ مركز الصورة التالية داخل خط الطيران.

م٤ مركز الصورة المجاورة داخل خط الطيران السابق.



م٥ مركز الصورة المجاورة داخل خط الطيران التالى.

ب. تنصيف المسافات بين المراكز المجاورة ومركز الصورة الوسطى وإقامة أعمدة عند نقاط التنصيف.

ج. تحديد المنطقة الفعالة أو المركزية.

شكل ٦-٤٩: طريقة تجهيز الصورة وتحديد المنطقة الفعالة.

الفصل السادس : أجهزة قراءة الصور الجوية

٣,١٤: الرؤية المجسمة.

الإبصار المجسم هو قدرة من الله أعطاها لنا كي نري الظواهر الجغرافية بأبعادها الثلاثة، حيث وجود عينين تمكننا من رؤية الأشياء المجسمة (طول، عرض ، إرتفاع)، فالعين الواحدة لا تمكننا من الإبصار المجسم حيث أن فكرة التجسيم تتبع مصدري الإبصار (العينين) حيث نتقابل صورتا الهدف (الظاهرة) بزاوتي إبصار من وضع العينيين المتباعدتين والتي تسمي بقاعدة الإبصار ثم يقوم المخ بترجمة الصورتين لصورة واحدة، ويعد هذا العمل التصويري المجسم للعين علميا حيث تشعر العين بالتجسيم ، وبالتالي تشترك العين مع عصب الإبصار ومركز الإبصار في المخ لأداء تلك المهمة:

شروط الرؤية المزودجة:

١- يجب ال تغطي الصورتان جزئيا نفس المنطقة.

٢- أن يكون محوري الكاميرا في مستوي واحد.
٣- لا يجب أن تكون المسافة بين الصورتين كبيرة.
٤- أن يكون مقياس الرسم للصورتين متساوياً.

- ويمكن رؤية الأشياء مجسمة :

أ) محاور العينين المتقاطعتين Crossed eye axes يحدث التقارب بين ١٠٠-٢٥٠ مثلي ولا تستخدم هذه الطريقة كثيراً لأنها مجهدة للعين.

ب) محاور العينين المتقاربتين Convert eye ares ويحدث التقارب في الرؤية علي مسافة ٢٥٠ مللي وصعوبة هذه الطريقة وهو أن الصورتين يجب أن يتداخلا مع بعضهما البعض ويتم هذا من خلال الأناجليف وفيه كل عين تري صورة واحدة.

ج) محاور العينين المتوازيتين Parallel eye Axes وفيها يمكن استخدام طريقتين الأولي الرؤية بالعين المجردة بإستخدام مسطرة بين العينين والنظر للصورتين فيتم بناء صورة مجسمة يمكن رؤيتها وهذا الوضع غير دقيق.

أما الطريقة الأخيرة فتتم بإستخدام الاستريو سكوب بأشكاله المختلفة ويتم التحكم في المسافة بين النقط المتشابهة من ٢٥٠ مللي إلي ٣٥٠ مللي.

وقد دلت التجارب علي أن الإنسان العادي قادر علي تمييز فروق الأبعاد بين الصور المختلفة إذا كانت الفروق بين اتجاهات الأشعة الواصلة إليها بنحو ٥٠ درجة والمسافة بين محوري الإبصار تتراوح من ٥- ٧ سم وبالتالي فإن

أكبر لتمييز فروق الأبعاد يتراوح من ٦٠٠ – ٨٠٠م. وبعد ذلك تري الأشياء علي مستوي واحد.

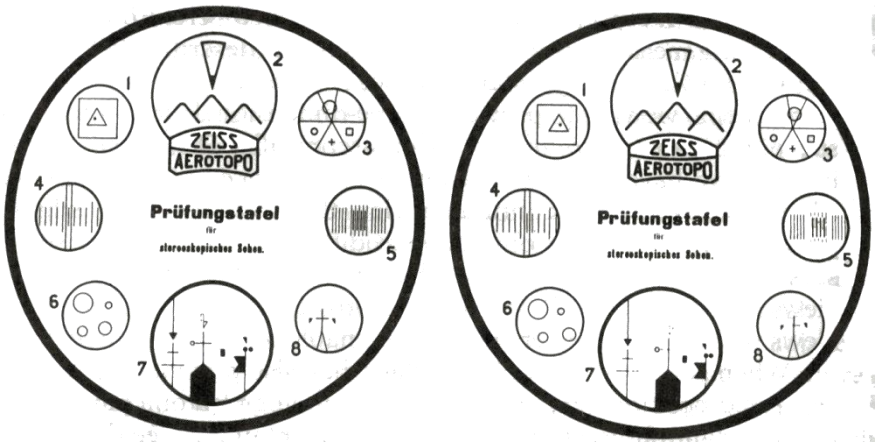
العوامل المؤثرة علي الإبصار المجسم:

١- عدم ثبات إرتفاع الطيران أثناء عمليه التصوير حيث يؤدي إختلاف الارتفاع لإختلاف المساحة التي تم تصويرها مع إختلاف مقياس الرسم لإختلاف الارتفاع بين الصورتين مما يؤدي لعدم إندماج الصور المأخوذة وبالتالي صعوبة الرؤية المجسمة لعدم تساوي الظاهرات.
٢- ميل الطائرة يؤدي لحدوث ميل في الصورة فلو حدث الميل فسوف يؤدي إلي عدم انطباق النقط بعضها علي بعض عن الوضع الحقيقي فيما كانت رأسية.
٣- انحراف خط الطيران أثناء التصوير.
٤- الخطأ في توجيه الصورة يؤدي لصعوبة الرؤية المجسمة لإختلاف توجيه الصورة.
٥- الفروق في ارتفاعات المنطقة التي يتم تصويرها حيث يؤدي لإجهاد العينين بسبب إختلاف زاوية الرؤية.
٦- عدم الدقة في ضبط الخط الواصل بين عيني الجهاز وخط الطيران وبالتالي يجب تصحيحه حتي تتلاشي وتظهر الصورة المجسمة.
٧- وجود عيوب في بصر المفسر يؤدي لعدم رؤية الظاهرات بشكل مجسم.

أهم أدوات الإبصار المجسم :

١,٣,١٤: الاستريوسكوب.

تحظى أجهزة الرؤية المجسمة "الاستريوسكوب" باهتمام خاص من مفسرى الصور الجوية لاختلاف أنواعها وتباين درجات وضوح الصورة من خلالها. وتستخدم أجهزة الاستريوسكوب فى رؤية البعد الثالث لسطح الأرض من خلال زوجيات الصور الجوية بواسطة عدستين. وتعتمد فكرة عمل الجهاز على أن الرؤية المجسمة التى نراها للظاهرات من حولنا بواسطة أعيننا المجردة تعتمد فى الأساس على رؤية الظاهرة الواحدة من زاويتين مختلفتين ، حيث تقع كلا العينين على مسافة صغيرة من بعضهما البعض وهى المسافة المعروفة بقاعدة العين. ويعمل العقل البشرى على إلغاء الفارق بين ما تراه كل عين بحيث تبدو لنا الظاهرات فى النهاية بالبعد الثالث. ولذلك يتم عمل التداخل بين الصور الجوية بحيث يصور المكان الواحد من زاويتين مختلفتين. وعند وضع زوجيات الصور فى ترتيبها الصحيح تحت جهاز الاستريوسكوب ، يتم رؤية الصور من خلال عدسات الجهاز ويتم ضبطها جيداً إلى أن يتلاشى تدريجياً الاختلاف فى زوايا الرؤية لنتمكن فى النهاية من رؤية البعد الثالث. ويوضح شكل (٦-٥٠) اختبار للرؤية المجسمة الذى أعدته شركة زايس الألمانية ، ويمكن التدريب عليه بواسطة الاستريوسكوب الجيبى البسيط وبمساعدة جدول ٦-٣.

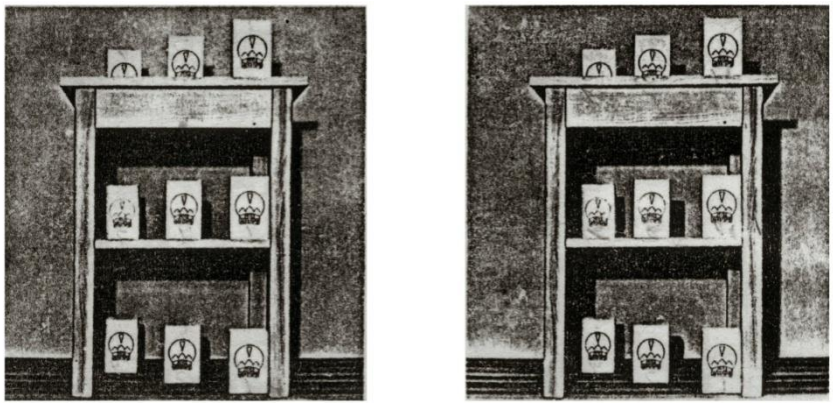


شكل ٦-٥٠: اختبار الرؤية المجسمة الأول.

ويضم الشكل ثمانى دوائر بكل دائرة منها مجموعة من الأشكال. فمثلاً الدائرة رقم واحد تتضمن إطار الدائرة بداخله مربع ثم مثلث وأخيرا نقطة بداخل المثلث. ويتم ترتيب هذه الأشكال بما فيها إطار الدائرة حسب ارتفاعها كما يتضح تحت جهاز الاستريوسكوب. وظاهرات الدائرة الأولى مرتبة فى الجدول ، وينبغى على المتدرب إعادة رؤيتها وترتيبها أولاً ثم مقارنة ذلك بالترتيب الصحيح.

أما الأفراد الذى قد يعانون من ضعف أحد العينين أو هؤلاء الذين لم يتمكنوا من رؤية البعد الثالث من الاختبار السابق يمكنهم إعادة المحاولة باستخدام الإختبار الثانى الذى يوضحه شكل ٦-٥١ ، والذى يوضح مجموعة من الصناديق موضوعة داخل دولاب مكون من ثلاثة رفوف. والمطلوب ترتيب الصناديق الثلاثة الموضوعة فوق كل رف على حده ، تبعاً لقربها أو بعدها من حافة الرف كما تظهر تحت جهاز الاستريوسكوب.

وقد يتمكن بعض الأفراد من رؤية البعد الثالث دون استخدام جهاز الاستريوسكوب. ويتم ذلك عادة بوضع زوجيات الصور على بعد حوالى ٢٥ سم من العينين ، على أن تكون الرؤية فى خط مستقيم إلى مالا نهاية أثناء ملاحظاتنا للصورتين. ورغم كونها عملية مجهدة للعين للغاية إلا أنها وسيلة مفيدة فى حالة عدم توافر الاستريوسكوب.



شكل ٦-٥١: اختبار الرؤية المجسمة الثانى.

وتتعدد أنواع أجهزة الاستريوسكوب المستخدمة فى الرؤية المجسمة ، فبعضها بسيط يعتمد على زوج من العدسات ، بينما يزود بعضها الأخر بمرايا ومناشير زجاجية. وفيما يلى إشارة موجزة لبعض أجهزة الاستريوسكوب شائعة الاستخدام:

PART I

Within the rings marked 1 through 8 are designs that appear to be at different elevations. Using "1" to designate the highest elevation, write down the depth order of the designs. It is possible that two or more designs may be at the same elevation. In this case, use the same number for all designs at the same elevation.

Ring 1		**Ring 6**	
Square	(2)	Lower left circle	( )
Marginal ring	(1)	Lower right circle	( )
Triangle	(3)	Upper right circle	( )
Point	(4)	Upper left circle	( )
		Marginal ring	( )
Ring 7		**Ring 3**	
Black flag with ball	( )	Square	( )
Marginal ring	( )	Marginal ring	( )
Black circle	( )	Cross	( )
Arrow	( )	Lower left circle	( )
Tower with cross	( )	Upper center circle	( )
Double cross	( )		
Black triangle	( )		
Black rectangle	( )		

PART II

Indicate the relative elevations of the rings 1 through 8.

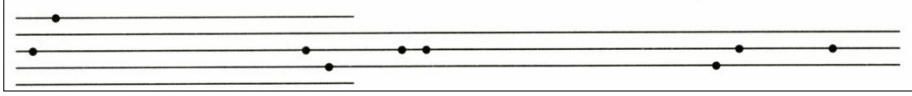
( )( )( )( )( )( )( )

Highest Lowest

PART III

Draw profiles to indicate the relative elevations of the letters in the words "prufungstafel" and "stereoskopisches sehen."

P R U F U N G S T A F E L S T E R E O S K O P I S C H E S S E H E N



جدول ٦-٣ المستخدم فى إختبار الرؤية المجسمة.

- الاستريوسكوب الجيبى Pocket stereoscope: وهو جهاز بسيط يعتمد على زوج من العدسات إلى جانب مقياس مدرج مزود بزر إسطوانى جانبى لضبط المسافة بين العدسات التى تتراوح بين ٤٥-٧٥ مم بحيث تناسب قاعدة عين المستخدم (شكل ٦-٥٢). ويعيب هذا الجهاز صغره بما لا يسمح برؤية الصورتين بشكل كامل دون رفع أطراف احدى الصورتين إلى أعلى.

▪ الاستريوسكوب ذو المرايا Mirror stereoscope: ويعتمد على استخدام مجموعة من العدسات مزودة بمناشير زجاجية prisms ومرايا تفصل بين خطى الرؤية (شكل ٦-٥٣). ويمكن بواسطة هذا الجهاز رؤية الصور الجوية العادية بأحجامها كاملة ٢٣٠ x ٢٣٠ مم. ويمكن رفع قدرة الجهاز على التكبير أو التصغير بما يتراوح بين ٢ إلى ٤ مرات بإضافة بعض العدسات المكبرة ، وإن كان ذلك يقلل من مجال الرؤية.

شكل ٦-٥٢: الاستريوسكوب الجيبى وحافظته.

شكل ٦-٥٣: الاستريوسكوب ذو المرايا.

- الاستريوسكوب الماسح. وهو جهاز مزود بنظام مسح آلى يسمح بحركة العدسات لتقوم بمسح زوجيات الصور دون الحاجة إلى تحريك الصور. وللجهاز القدرة على التكبير بما يتراوح بين

١,٥-٤,٥ مرة.

▪ الاستريوسكوب المزدوج Double stereoscope: وهو جهاز يستخدم فى فحص الصور الجوية المطبوعة على ورق بلاستيك شفاف. والجهاز مزود بمجموعة كبيرة من العدسات والمناشير الزجاجية المتحركة التى تساعد على رؤية الصور أسفلها وتكبيرها أو تصغيرها حسب حاجة المفسر (شكل ٦-٥4). وترتكز زوجيات الصور على لوح من الزجاج بحيث يمكن رؤيتها جيداً.

والواقع أن هناك العديد من أجهزة الاستريوسكوب التى لا يتسع المجال لذكرها جميعاً. على أن الاستريوسكوب الجيبى والاستريوسكوب ذو المرايا هما أكثر هذه الأنواع شيوعاً واستخداماً.

شكل ٦-٥٤: استريوسكوب مزدوج من نوع بوش-لومب.

والاستريوسكوب الجيبى بسيط الاستخدام للغاية ، بحاجة فقط لفتح حواملة أو أقدامه الأربعة ووضعه على نطاق التداخل بين زوجيات الصور أو فوق المنطقة المراد رؤيتها بالبعد الثالث. وكذلك ضبط قاعدة العين. ويتم ذلك بالنظر إلى زوجيات الصور من خلال عدسات الاستريوسكوب ، وتحريك الزر الإسطوانى الجانبى الخاص بضبط المسافة بين العدستين ببطء فى ذات الوقت. مع استمرار تغير المسافة بين عدستى الجهاز يصل المستخدم إلى أفضل مسافة بين العدستين عندما يختفى زيغ أو تشويش العدسات أثناء الرؤية.

أما الاستريوسكوب ذو المرايا فهو يحتاج إلى تجهيزات عديدة قبل استخدامه. ويمكن حصر طريقة تجهيزه على النحو التالى:

- التعرف على قاعدة العين للشخص القائم بالتفسير ، ويتم ذلك بقياس المسافة الفاصلة بين عينيه واسطة شخص أخر وهى تتراوح فى العادة بين ٥٧-٧٢ مم.
- ضبط المسطرة الملحقة بعدسات الجهاز على المسافة المساوية لقاعدة عين المفسر والتى سبق وأن حددها فى الخطوة السابقة.
- ضبط قاعدة جهاز الاستريوسكوب على النحو التالى:

* استخدام شريط من الورق بطول ٤٠ سم وعرض ٥ سم فأكثر.
* رسم خط مستقيم فى منتصف الشريط الورقى بالقلم الرصاص والمسطرة بطول ٣٠ سم فأكثر.
* وضع شريط الورق تحت جهاز الاستريوسكوب ، ثم النظر إليه من خلال العدسات حيث نجد أن الخط يظهر أسفل الجهاز على هئية خطان.

* يتم تحريك جهاز الاستريوسكوب للأمام والخلف ببطء حتى ينطبق الخطان ويصبحا خطا واحدا.
* يتم بالتبادل إغماض عين وفتح الأخرى بهدف تحديد النقطة المركزية لمجال كل عين على طول الخط المرسوم عند كل نقطة منها على شريط الورق. ثم تفتح العينان معاً فإذا انطبقتا النقطتان معاً أى ظهرتا على أنهما نقطة واحدة يكون التحديد سليماً.
* يتم قياس المسافة الفاصلة بين النقطتين والتى تمثل قاعدة الجهاز.

- نأتى بعد ذلك بزوجين من الصور الجوية وقد حددنا على كل منهما مركز الصورة. يتم وضع الصورتين أسفل الجهاز على أن تكون المسافة الفاصلة بين مركزى الصورتين مساوية لطول قاعدة الجهاز التى حددناها فى الخطوة السابقة.
- بعد ضبط وضع الصورتين بما يسمح برؤية البعد الثالث يتم تثبيت الصورتين جيداً.

٢,٣,١٤: الرؤية بواسطة الاناجليف Anaglyphic view.

تعتمد رؤية البعد الثالث بطريقة الاناجليف على إسقاط صور أحادية اللون monochromatic images من خلال مرشحات لونية filters تستخدم عادة فيها الألوان الأزرق الداكن cyan والأحمر. ثم يتم فحص الصورة بواسطة نظارة بها عدستان ملونتان بنفس الألوان (الأزرق الداكن والأحمر) (شكل ٦-٥٥). ويعمل المرشح (فلتر) الأحمر على حجب الضوء الأحمر ، بينما يعمل المرشح الأحمر على حجب اللون الأزرق الداكن. ومن ثم يمكن رؤية الصورة الزرقاء بالعدسة الزرقاء والحمراء بالعدسة الحمراء بواسطة

النظارة ، ثم يتلاشى اختلاف الرؤية تدريجيا حتى يظهر البعد الثالث للصورة (شكل ٦-٥٦).

شكل ٦-٥٥: النظارة المستخدمة فى رؤية البعد الثالث بطريقة الاناجليف.

٣,٣,١٤: جهاز الرؤية بالتناوب Stereo-image alternator.

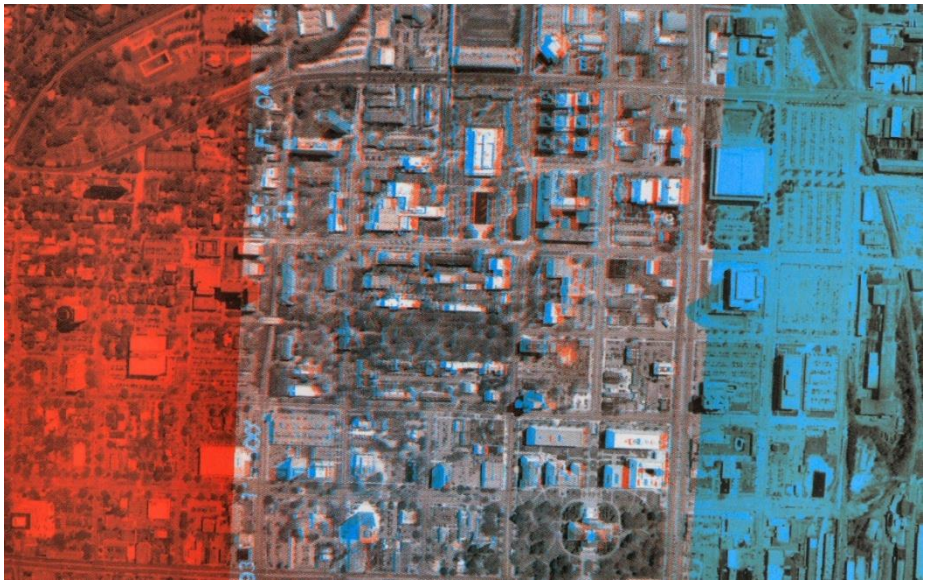
يعمل هذا الجهاز على إظهار زوجيات الصور الجوية بالتناوب بسرعة عالية. كما يعمل فى ذات الوقت على تبادل حجب الرؤية عن العين اليمنى واليسرى لمفسر الصورة من خلال نظام إغلاق آلى shutter system.

٤,٣,١٤: استخدام أجهزة الرسم المجسمة Stereoplotters.

تستخدم أجهزة الرسم المجسمة والمعروفة بالـStereoplotter فى رؤية البعد الثالث لزوجيات الصور الجوية. وهناك عدة أنواع من هذه الأجهزة هى:

- أجهزة الرسم المجسمة بواسطة العدسات الميكانيكية Optical and optical-mechanical stereoplotters.

- أجهزة الرسم المجسمة التحليلية Analytical stereoplotters والتى تعتمد على المعاملات الرياضية فى فى تحديد مواقع ظاهرات الصورة بدقة بدلا من الاعتماد على نظام العدسات الثنائية. ويتم تحليل نتائجها بواسط الحاسب الآلى فيما بعد.
- أنظمة الرسم الإلكترونية Softcopy stereoplotter وتعتمد بشكل كلى على الحاسب الآلى فى إعداد الرؤية المجسمة للصور.



شكل ٦-٥٦: أناجليف مجسم ثنائى لمدينة كولومبيا الأمريكية. وتستعمل نضارة مرشحات الألوان الأحمر والأزرق الداكن بهدف رؤية البعد الثالث.

١٥. طرق تحليل الصور الجوية.

ليس هناك طريقة أو منهج محدد يمكن إتباعه عند تحليل الصور الجوية ، ذلك إذ أن الطريقة المتبعة فى تحليل الصور تخضع فى المقام الأول لهدف

الدراسة ، بمعنى أن تفسير الصورة يختلف باختلاف اهتمامات الباحثين. فاهتمامات الجيولوجين تختلف عن اهتمامات الزراعيين والمختصين بدراسة التربة والعمران والاركيولوجى وغيرها من التخصصات التى تستخدم فيها الصور الجوية. ومن ثم نجد أن طرق تحليل الصور الجوية تتدرج بين الطرق البسيطة مثل التعرف على ظاهرات السطح وتصنيفها وإحصاءها مثل أعداد المبانى والسيارات والقوارب المائية والطائرات والحيوانات وغيرها ، والطرق المعقدة التى تستدعى التعرف على العلاقات الخفية بين ظاهرات الصورة مثل العلاقة بين خطوط البنية كالانكسارات والفواصل واماكن تركز المياه تحت السطحية. أو علاقة الأودية ونظم الجريان المائى بعمليات الإذابة تحت السطحية فى صخور الحجر الجيرى والطباشيرى. وقد تستدعى بعض الطرق استخدام معادلات رياضية لاستخراج بيانات كمية من الصورة مثل تقدير أعداد السكام وحركة السيارات فى الشوارع الرئيسية أو دراسة المنحدارات وارتفاع السطح أو دراسة درجة حرارة سطح الأرض.

إنطلاقا من هذا فإنه يمكننا القول بأن طرق تحليل الصور الجوية لا تمثل أكثر من مجرد خطوط عريضة لإرشاد المفسرين لا سيما المبتدئين فى تحليل الصور الجوية. وهذا يعنى أن كل مفسر له كامل الحق فى أن يضع لنفسه الطريقة أو المنهج الذى يراه من وجهة نظره ملائما لتفسير الصور الجوية.

ويجب بصفة عامة أن يراعى مفسر الصورة أمران قبل البدء فى تفسير الصورة وهما:

- وضع نظام تصنيف دقيق ومحكم بحيث يعتمد عليه عند تصنيف ظاهرات الصورة ورسم حدودها المساحية. فمثلا العاملين فى مجال استخدامات

الأراضى عليهم تحديد الأسس والمعايير التى سوف يعتمدون عليها فى تصنيف استخدامات الأراضى.

- تحديد أصغر وحدة مساحة يمكن أن تخضع للتفسير ، إذ أن اختيار حجم الوحدة المساحية يؤثر فى كم التفاصيل التى ستظهر على الخريطة النهائية. ويتوقف اختيار أصغر وحدة مساحة تخضع للتفسير على طبيعة الدراسة ومستوى التفاصيل والدقة المطلوبة. فمثلا قد يهتم العاملون بدراسة أشكال السطح (الجيومورفولوجيون) بتحديد أشكال السطح الكبرى فى إقليم ما كالجبال والتلال والهضاب والسهول والأودية الرئيسية ، بينما قد يتغاضون عن الظاهرات الأخرى الدقيقة التى قد تتضمنها كل وحدة من الوحدات الرئيسية. بينما قد تحتاج عملية إنشاء خريطة تفصيلية لأنواع التربة إلى دراسة كل نوع على حده وتحديده بدقة بغض النظر عن حجم وحدة المساحة التى يغطيها.

ويمكن تقسيم طرق تحليل الصور الجوية بوجه عام إلى أربعة طرق رئيسية هى:

١,١٥: فصل وتحليل العناصر Element discrimination and analysis.

تهدف عملية الفحص الأولى للصور الجوية إلى التعرف على الظاهرات الرئيسية المكونة للصورة. ويبدأ تحليل الصورة بفصل كل ظاهرة رئيسية

على حده على ورق شفاف تمثل كل ورقة منها طبقة layer ، ويتم تحليلها منفصلة عن غيرها من الظاهرات مثل النبات الطبيعى واستخدامات المناطق السكنية والزراعية والميل والتضاريس وغيرها. ثم توضع الشفافات فوق بعضها البعض بعد ذلك بهدف تحليل الترابط والعلاقات المكانية بين كل ظاهرة والظاهرات الأخرى المجاورة لها. ويسمى هذا الأسلوب من التحليل بالخط الرئيسى master line المتبع فى فصل وحدات سطح الأرض landscape الرئيسية. وقد يقوم بعض المفسرين بإعادة تصنيف الظاهرات الرئيسية إلى وحدات أخرى فرعية أصغر subunits. وتعد عملية فصل وتحليل عناصر أو ظاهرات الصورة الرئيسية من الطرق البسيطة وهى تلائم المفسرين المبتدئين.

٢,١٥: التحليل الفيزيوجنومى Physiognomic analysis.

يعتمد التحليل الفيزيوجنومى على قدرة المفسر فى معرفة الخصائص الشكلية الطبيعية physical appearance من الصورة الجوية. ويرتبط به كذلك تحليل العلاقات الخفية بين بعض الظاهرات والتى يعتمد كشفها والتعرف عليها على خبرة المفسر وإلمامه بطبيعة وخصائص الظاهرات التى يقوم بتفسيرها. والتحليل الفزيوجنومى من أصعب طرق تحليل الصور الجوية ، والتى يتم اللجوء إليه فى الدراسات التى تحتاج إلى استنتاج معلومات من الصور الجوية بطرق غير مباشرة مثل تحديد المواقع المناسبة للإستصلاح الزراعى ومواقع حفر الآبار وحركة مواد المنحدارات وتلوث المياه ...إلخ.

٣,١٥: تحليل أشكال السطح الطبيعية Physiographic analysis.

قد تعتمد عملية تحليل الصور الجوية على تحليل الوحدات الجيومورفولوجية أو أشكال السطح الرئيسية ، وتصنيفها سواءا إلى وحدات كبرى أو أخرى فرعية مستخدما فى ذلك المسميات الجيومورفولوجية. وهى من الطرق الصعبة فى تفسير الصور الجوية ، إذ تعتمد بشكل رئيسى على خبرة المفسر بخصائص أشكال السطح ومعرفته الجيومورفولوجية بطرق نشأتها وتطورها مع الزمن. كما أن هذه النوع من التحليل قد لا يناسب أغراض بعض المفسرين غير المتخصصين فى دراسة أشكال السطح.

بوجه عام يستطيع المهتمين بتطبيق هذا الأسلوب فى تحليل الصور الجوية اتباع خطوات ثابتة فى إعداد خرائطهم الناتجة عن تفسير الصورة الجوية. ويمكن تحديد هذه الخطوات على النحو التالى:

- تحديد شبكات التصريف المائى (الأودية) والتعرف على أنماطها واتجاهاتها وعلاقتها بالاختلافات الصخرية (الليثولوجية) وخطوط البنية الرئيسية. وكذلك تحديد الأشكال الرئيسية المرتبطة بها كالبحيرات والمصاطب والجزر وغيرها.
- تحديد المظهر التضاريسى العام من خلال تحديد المرتفعات ومناطق تقسيم المياه وخصائص المنحدرات.
- دراسة الخصائص النباتية بهدف توضيح الاختلافات المكانية بين أنواع النباتات المختلفة مثل نوع التربة والملوحة والمسامية والمياه.

- دراسة الاختلافات الصخرية والبنيوية مثل فصل الوحدات الصخرية الرئيسية والفرعية وتحديد مكاشف الطبقات الصخرية ودرجة ميلها. وكذلك تحديد خطوط البنية الرئيسية مثل الانكسارات والفواصل الغائرة وتحديد اتجاهاتها وتأثيرها على أشكال السطح.
- تحديد الوحدات الجيومورفولوجية الرئيسية ورسم الخريطة النهائية التى تتضمن تصنيف أشكال السطح تبعا لظروف نشأتها والعوامل الرئيسية المؤثرة فيها.

٤,١٥: تحليل الأنماط Pattern analysis.

تعتمد هذه الطريقة على تحليل أنماط الترتيب المكانى وطبيعة تكرار ظاهرات السطح داخل الصورة على نحو ما ذكرنا آنفا عند الحديث عن أسس التفسير. فالطبيعى أن الأنماط المتشابهة تعد إنعكاسا لظروف مماثلة بصرف النظر عن طبيعة الظاهرة موضع التفسير. فانتشار الغابات مثلا فى عدة مناطق متفرقة من الصورة الجوية يشير مثلاً إلى توافر الرطوبة اللازمة التى تسمح بنمو الأشجار والأعشاب والحشائش. غير أنه يمكن داخل كل نمط رئيسى أن نميز مجموعة أخرى من الأنماط الفرعية ، فالنمط الذى تبديه مثلاً الأشجار المخروطية الشكل مثل أشجار الكمثرى يختلف عن النمط الذى تبديه الأشجار الأخرى غير المخروطية مثل أشجار الجوز واللوز والكرز والخوخ.

ويجب الحذر عند اتباع طريقة تحليل الأنماط المتشابهة ، صحيح أن الأنماط المتشابهة تعكس ظروفا مماثلة ، غير أنه قد تتشابه الأنماط فى بعض الأحيان

نتيجة لعوامل أخرى غير مشتركة بينها. فمثلا يلجأ الفلاحون الذين تعانى أراضيهم من ارتفاع فى ملوحة التربة إلى زراعة الأرز الذى يعمل على غسل التربة بهدف تقليل ملوحتها وزيادة خصوبتها. فى نفس الوقت قد يلجأ فلاحون أخرون إلى زراعة نفس المحصول بهدف التربح دون أن تعانى أراضيهم من ارتفاع الأملاج فى التربة. ففى هذه الحالة نجد أن الاعتماد على تحليل الأنماط المتشابهة وحده غير كافى فى تفسير الصورة إذ قد يقودنا إلى معلومات مضللة.

١٦: مفاتيح تفسير الصور الجوية.

يحتاج عادة المبتدئين فى تفسير الصور الجوية إلى جهد كبير للتدريب على رؤية البعد الثالث من زوجيات الصور من ناحية ، والتعرف على ظاهرات الصورة من ناحية أخرى. وقد ناقشنا من قبل أسس التفسير البصرى للصور الجوية وكذلك مراحل التفسير والطرق المختلفة المتبعة لرؤية البعد الثالث لظاهرات السطح من زوجيات الصور الجوية بواسطة أجهزة الاستريوسكوب. ولتيسير القدرة على التعرف على ظاهرات الصور الجوية فإنه يفضل عادة إنشاء مفاتيح لتفسير الصور ، ويقصد بذلك إعداد نماذج من زوجيات الصور الجوية أو من الصور المفردة أو لأجزاء بعينها من الصورة لعدد من ظاهرات السطح مثل المناطق السكنية والصناعية ومواقف السيارات والغابات والحقول الزراعية والأشكال الرملية والكارستية وأنواع التربات وغيرها. على أن تكون هذه النماذج مصحوبة بتفسير موجز لكل ظاهرة بحيث يلجأ إليها المفسر عند تعثره أمام تفسير ظاهرة ما. كما ينبغى تفسير هذه النماذج جيدا فى ضوء أسس التفسير سابقة الذكر ، بحيث يبدو

فيها إمكانية فصل الظاهرات بدلالة خصائصها الشكلية والظلال ونمط التوزيع والتلازم ...إلخ. ويمكن إعداد مثل هذه المفاتيح أثناء التدريب من الصور مباشرة أو بالاستعانة بالنماذج التى أعدها أخرون ممن لديهم خبرة طويلة فى مجال تفسير الصور. ويختلف شكل مفتاح تفسير الصور وما يتضمنه من ظاهرات من مفسر لأخر تبعاً للغرض من التفسير واهتماماته ومجال بحثه. ويوضح شكل ٦-٥٧ نموذج لأحد مفاتيح تفسير الصور ، حيث يتضمن نماذج من ظاهرات عمرانية وزراعية وتفسير موجز للغاية لكل منها.

شكل ٦-٥٦: نموذج لأحد مفاتيح تفسير الصور الجوية.

المراجع المعتمد عليها:

١-سامية محمد عزت، تقنية المعالجة الرقمية للصور الفضائية، مجلة القوات الجوية، دولة الإمارات العربية المتحدة ، عدد يوليه ١٩٩٩م.

٢-عبد الفتاح صديق عبد اللاه، أسس الصور الجوية والاستشعار عن بعد، مكتبة الرشد .

٣-معوض بدوي معوض، مبادئ الاستشعار عن بعد، القاهرة ، الطبعة الأولي، ٢٠٠٨م.