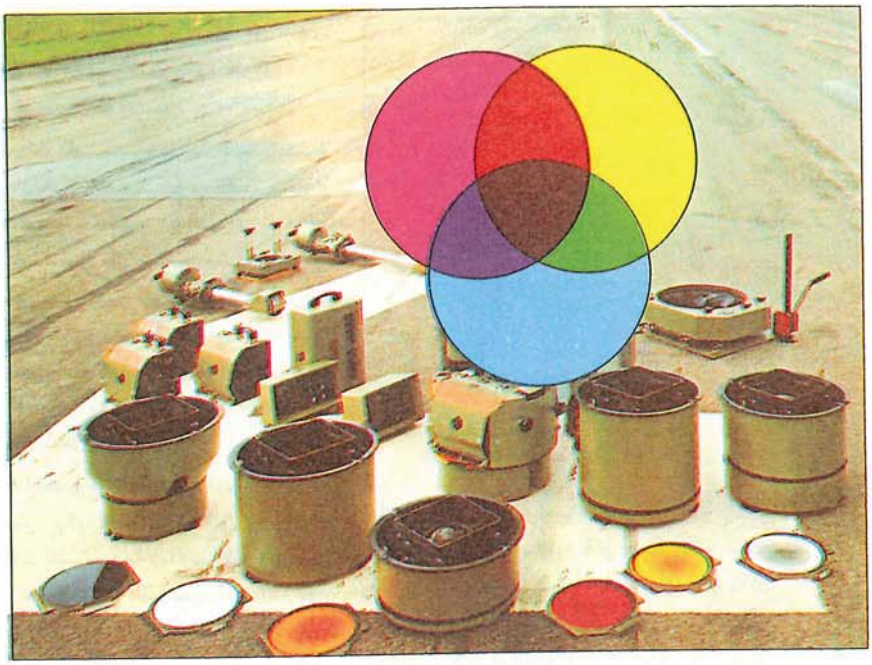


التصوير الضوئي

صالح الغوينم

عرف الصينيون منذ قديم الزمان مبدأ « الغرفة السوداء » الذي طوره العلماء المسلمون في القرن العاشر رغبة منهم في مراقبة كسوف الشمس إلا أن الفضل يعود بعد الله إلى الفيزيائي الإيطالي جيام باتيستا ديلابورتا حيث قام في القرن السادس عشر بتركيب أول جهاز لالتقاط الصور الشمسية ، وعلى الرغم من أن هذه الصور جاءت مشوهة في مراحلها الأولى ، إلا أن تطور الشرائط الحساسة المزودة بأملاح الفضة فيما بعد سارع في إنتشار صناعتها على مدى واسع .

والتصوير الضوئي عبارة عن عملية تسجيل للضوء الصادر من الجسم ، وما نراه في الصورة ما هو إلا تسجيل للتوزيع الضوئي لقسم من الموجات الكهرومغناطيسية تتراوح أطوالها مابين ٢٩ إلى ميكرون واحد ، وقد أدى تطور وانتشار وتنوع استعمال هذه العملية الى ظهور الاستشعار عن بعد كتسمية حديثة لتلك العمليات بعد ظهور نظام التصوير الطيفي الرقمي .

نظام التصوير الضوئي

الصورة عبارة عن تعبير عن الجسم، وتنقسم الصور تبعاً لطريقة تكوينها ، شكل (١) ، فالمجموعة الكليةهي الأجسام والمجموعة الجزئية لها هي الصور ، وتنقسم مجموعة الصور الجزئية الى صور فيزيائية مرئية مثل الصور الفوتوغرافية والبصرية واللوحات الفنية،وغير مرئية مثل الحرارة والضغط وصور المشتقات الرياضية المستمرة والمتقطعة (الرقمية) مثل الصور الرقمية التي يكونها الحاسب الآلي ، وتتكون الصورة الفوتوغرافية الضوئية بطريقة قياسية (Analogue) لأن الضوء مشتقة متصلة وطريقة تكُون الصورة فيه تتم بالتفاعل البصري الكيميائي .

يعد التصوير ضروري لتسجيل أحداث يمكن الرجوع إليها في أي وقت لإستخلاص المعلومات حول ذلك الحدث أو المعلم ، ورغم أن العين البشرية تكون صوراً بنفس النسق إلا أنه لا يمكنها عمل سجلات دائمة، لأجل ذلك تعد عملية التصوير ضرورية ، ويتكون نظام التصوير الضوئي ببساطة من ضوء في الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي يرسله الجسم يكون كمدخل لهذا النظام (Input) وصورة كمنتج (output) لهذا النظام. وتتكون عناصر النظام من الكاميرا وملحقاتها من أفلام ومرشحات وأجزاء ميكانيكية تتحكم بكمية وطبيعة الضوء المُدخل ، ويتم دراسة تلك السجلات بالنظام البصري للإنسان.

تسجل العين البشرية الإشعاعات المنعكسة عليها في المجال المرئي (٠,٣٨ - ٠,٧٨ ميكرون) من الطيف الكهرومغناطيسي ، وهو مجال التصوير الضوئي التقليدي ، ويعطي الرؤية الملونة إمكان التعدد الطيفي (Multi-Spectral) حيث تقسم الرؤية الملونة العادية للنطاق المرئي (Visible Band) إلى المكونات الطيفية الأساس للضوء المرئي كما هي في أحزمة طيف قوس قزح (Rainbow Spectrum) .

يتكون الشعور بعمق الأشياء (Depth) في عقل الإنسان عن طريق زوج من العيون بينهما منطقة مشتركة (Overlap) لمجال الرؤية (Field of View) يؤدي إلى تكون صور ذات ثلاثة أبعاد والتي بدورها تكون الإدراك بالعمق ، ويتكون نظام التصوير الضوئي مما يلي: -

١ - الكاميرا

تتم عملية التصوير الضوئي بوساطة الكاميرا (Camera) التي تتكون من أجزاء يتمثل عملها في تجميع الضوء الصادر عن الجسم عن طريق النظام البصري أو العدسة ليسقط على المستوى البؤري الذي يركب عليه لوح حساس أو فيلم ، وتتم عملية التحكم بكمية الضوء بوساطة الغالق (Shutter) وفتحة العدسة (Aperture) ، ويكون عمل الكاميرا الطبعي هو تسجيل الضوء في المجال المرئي (Visible) والمجالات المجاورة له من النطاق فوق البنفسجي (UV) وتحت الأحمر (IR) .

ويتميز كل نوع من أنواع الكاميرات بمواصفات معينة حسب البعد البؤري والأفلام والمرشحات وذلك حسب المهمة

والغرض من الإستخدام ويمكن تقسيمها بموجب ذلك إلى مايلي :-

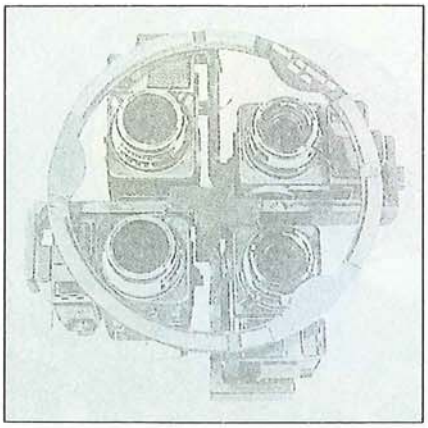
● **كاميرات التصوير الجوي :** يستخدم حاليا حوالي مائة نموذج ، ونظراً لوجود إختلافات بسيطة في كثير من الأحيان بين تلك النماذج فإنه يمكن تقسيمها إلى الأنواع التالية :-

* **كاميرات الخرائط :** وهي أبسط أنواع الكاميرات الجوية لكونها تتميز بالمظاهر الأساس للكاميرات ، ويطلق عليها أحيانا اسم الكاميرات المترية أو الكارتوجرافية . تشكل هذه الكاميرات جزء من نظام التصوير بالطائرة الذي يتضمن نافذة للرؤية والمراقبة (View finder) للمعايرة حسب خطة التصوير ، ويتميز هذه النوع من الكاميرات بالدقة العالية في تصحيح التشتت ، شكل (٢) .

* **كاميرات الإستطلاع :** وقد صممت لتعمل بقوة تفريق عالية مقارنة بكاميرات عمل الخرائط ويتميز أغلبها بمجال رؤية ضيق كما تختلف قوة التفريق لهذه الكاميرا عبر مدى واسع حيث تم الحصول على قوة تفريق ٢٠٠ دورة / مم لكاميرا ذات بعد بؤري ٦٠سم.

* **الكاميرات ذات الرؤية الشاملة "البانورامية" :** وتستخدم في الإستطلاع العسكري الجوي وتتكون أساساً من عدسة متحركة وشق طولي يؤدي لعمل ممر اسطواني للفيلم الذي يكون بدوره ثابتاً أو متحركاً بسرعة الطائرة. وبسبب طبيعة هذا التصوير تكون المعالم متجمعة في نظرة شاملة ، كما أن الأهداف المصورة بهذه الطريقة لا تظهر على حسب مواقعها على الطبيعة .

* **كاميرات التصوير الشريطي المستمر :** وقد ظهر أول نموذج لها في عام ١٩٣٠م ، وهي نوع من الكاميرات المستخدمة في الإستطلاع الجوي العسكري على الإرتفاع المنخفض عالي السرعة ، وتكون هذه الكاميرات صوراً مستمرة للأرض ـ من الطائرة ـ عن طريق عرض الفيلم على شق ثابت في المستوى البؤري للعدسة وبسرعة طيران الطائرة لتعويض حركة الصورة



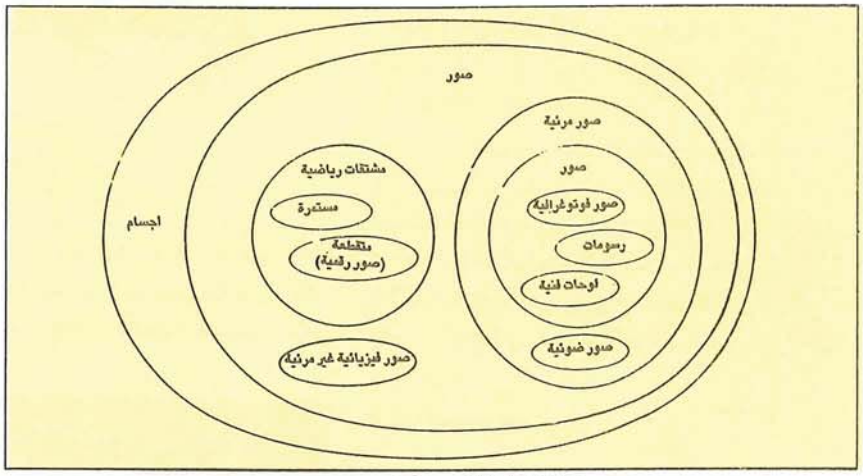
● أربع كاميرات ذات أربعة نطاقات .

بالنسبة للأرض ، ولا يوجد في هذا النوع غالق ولكن فتحة العدسة وحجم الشق يمكن تغييرهما ، وعادة يكون الشق صغيراً جداً لذا فإن مدرجاً أو شريطاً من الأرض يظهر على الفيلم ، وبتحرك الطائرة الى الأمام يتكون مزيد من هذه الأشرطة المتتابعة والمستمرة ومن هنا جاءت التسمية .

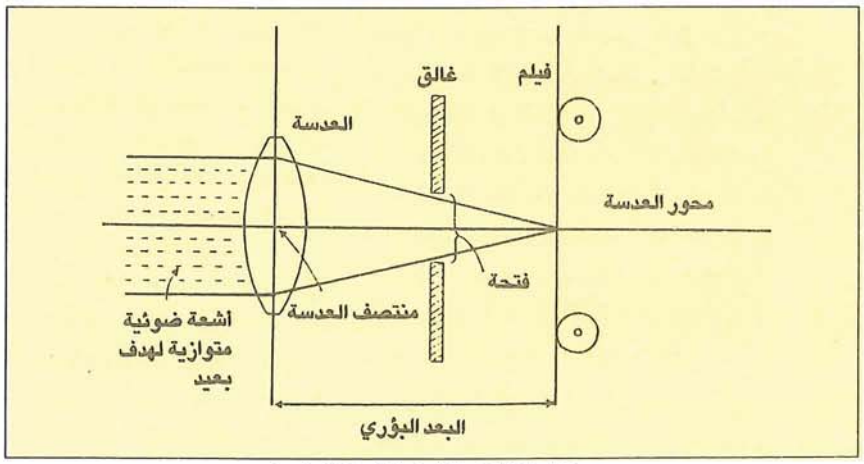
* **الكاميرات متعددة النطاقات :** ويقوم عملها على فكرة التصوير المتعدد النطاقات (Multiband Photography) وفيه تقوم الكاميرا بتسجيل عدة صور على فيلم أسود وأبيض للمنظر المعين عبر عدة مرشحات طيفية ثم تحول الصور إلى صور شفافة موجبة ـ أسود وأبيض ـ يتم إضاءتها عبر مجموعة ثانية من المرشحات الطيفية ، ويتم تصفيتها وأيضاحها (Focus) لتشكل صورة ملونة (Additive Colour Display) مركبة ، ويمكن بطبيعة الحال مسح صور مختلفة رقمياً وعرضها الكترونياً على شاشة عن طريق ثلاث مُسقطات للألوان ، ومما يجدر ذكره أن هذا النوع من الكاميرات قد تم تطويره في الستينيات للدراسات التطبيقية للثروات الطبيعية .

● **كاميرات التصوير الفضائي :** وهي تتميز بخصائص مواجهة الظروف الفيزيائية للغلاف الجوي ومن أهم تلك الأنواع من الكاميرات ما يلي:-

* **الكاميرا المتعددة الأطياف :** وقد عملت في رحلة أبولو ٩ في عام ١٩٦٩م للإستخدام في تجربة SO65 وتتكون من أربع كاميرات مثبتة في نافذة حجرة القيادة لتصوير الأرض أثناء الطيران ، وعن طريقها تم الحصول على أول صور متعددة الأطياف في تاريخ برنامج وكالة الفضاء الأمريكية (NASA) وقد أدت نتائج الصور إلى أبراز المستقبل الواعد للإستشعار



● شكل (١) أنواع الصور .



● شكل (٢) الفكرة العامة لعمل الكاميرا .

عن بعد بالتعدد الطيفي.

* **الكاميرات (MKF-6) و (S190)** : وهما كاميرتان متعددتا الأطياف تتشابهان ولكل واحدة منهما ست عدسات متعددة الأطياف وتعملان على فيلم ٧٠ملم. وقد تم صنع الأولى منهما بوساطة شركة زايس الألمانية لحساب معهد بحوث الكون بأكاديمية العلوم بالإتحاد السوفييتي (سابقاً) حيث إستخدمت في بحوث المركبة السوفيتية سايوز ٢٢ ، أما الكاميرا الأخرى (S190) فقد صنعتها شركة ايتك (Itek) الأمريكية لحساب وكالة الفضاء الأمريكية ناسا لإستخدامها في مختبر الفضاء (Skylab) .

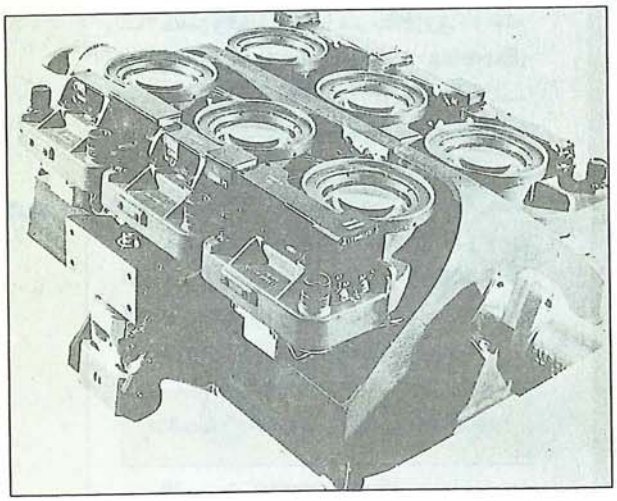
* **الكاميرا الأرضية** : وقد إستخدمت في مختبر الفضاء (Skylab) للتجربة رقم S190B وتعد هذه الكاميرا نوعاً من كاميرات الإستطلاع الإطارية عالية الأداء .

* **الكاميرا البانورامية** : وهي كاميرا ذات قضيب بصري وبعد بؤري ٦١٠ ملم صنعت بوساطة شركة اتيك (Itek) واستخدمت في إلتقاط صور في رحلات أبولو ١٥ و ١٦ و ١٧ .

* **الكاميرا ذات الإطار الكبير** : وقد إستخدمت في إحدى رحلات المكوك الفضائي لتصوير أجزاء من العالم وحققت قوة تفريق أرضية تبلغ ١٠م مما أهلها لعمل خرائط دقيقة .

٢ ـ المرشحات

المرشحات (Filters) عبارة عن مادة من الزجاج أو الجيلاتين تستخدم في التصوير الضوئي بغرض حجب بعض الإشعاعات ـ في نطاق موجي معين ـ التي تمثل معلماً من المعالم غير المرغوب في تسجيلها بالفيلم ، وعند الإستخدام يكون هناك إرتباط بين إختيار الفيلم والمرشح لتصوير معلم معين دون غيره .



● كاميرا (A 190) مستخدمة في مختبر الفضاء .

٣ ـ الأفلام

تتكون الأفلام الفوتوغرافية عموماً من طبقه حساسة للضوء تتكون هذه الطبقة من حبيبات هليدات الفضة في مستحلب جيلاتيني على طبقة من البوليستر الشفاف ، تعمل الفوتونات ـ في حالة التصوير العادي ـ عند إرتطامها بالفيلم الحساس على تكسير وإختزال التركيب الكيميائي لبلورات أملاح الفضة ، ويطلق على هذه المرحلة مرحلة الألتقاط ، وفي مرحلة الإظهار تعالج هذه الأفلام بمواد كيميائية خاصة تؤثر فقط على البلورات المتأثرة بالإشعاع والتي يتم إختزالها للفضة مكونة الصورة الكامنة (Latent Image) ، تتم عملية معالجة الأفلام الأسود والأبيض كيميائيا عن طريق تحويل الصورة الكامنة في الطبقة الحساسة الى صورة مرئية مستقرة وتتم عبر الخطوات التالية :ـ

* **مرحلة الاظهار** : وفيها يتم غمس الفيلم المتعرض للضوء اولاً في محلول مظهر (Developer) وهو محلول قلوي يعمل على اختزال الحبيبات المتعرضة للضوء في الطبقة الحساسة من الحالة الأيونية الجزيئية الى الحالة الذرية الخالصة ، ونظرا لأن الفضة في الحالة الذرية ذات لون أسود فانه يتكون هناك تناسب بين درجة عتامة الصورة السالبة (Negetive) المسودة ودرجة الاشراق (Brightness) للجسم في المنظر المصور ، وتعبر هذه النسبة عن نفسها بتكون درجات من الظلال الرمادية (Gray levels) التي تفصل المنظر .

* **إيقاف الاظهار** : يتم ايقاف عملية الاظهار للصورة بعد الوصول للدرجة المطلوبة من الكثافه للصورة عن طريق غمس الفيلم في محلول حمضي يقوم بعملية تعادل للمحلول المظهر القلوي السابق.

* **التثبيت** : وفيها يتم وضع الفيلم في محلول مثبت (Fixer) ، حيث يقوم بإزالة حبيبات هاليد الفضة من الطبقة الحساسة التي لم تتعرض للضوء حتى تثبت الصورة على درجة معينة من الجودة ، يتم عادة دمج هذه الخطوة مع خطوة إيقاف الاظهار في عملية واحدة اعتماداً على طبيعة الفيلم والمعالجة .

* **الغسيل والتجفيف** : وفيها يتم أولاً غسيل الفيلم بماء جار نظيف للتخلص من اي مخلفات كيميائية تؤثر على جودة الصورة ، يلي ذلك إزالة المياه من الفيلم المعالج وذلك بالتجفيف الهوائي في بيئة خالية من الغبار أو بالتجفيف عن طريق مسخن حار (Dry Heating) .

يتم الحصول على الصورة الموجبة (Positive) أو المبيضة بتعريض فيلم آخر للضوء الخارج من المسودة (Negetive) ، ويوضح الشكل (٣) مراحل تكون الصورة الموجبة .

لتوسيع نطاق عمل الفيلم ليشمل الطيف الأحمر و تحت الأحمر يتم إقتران (Coupling) حبيبات الهاليد بلون يقوم بإمتصاص الطول الموجي غير المرغوب في تسجيله بطريقة إنتقائية .

يستخدم مصطلح قوة التفريق (Resolution) لتحديد خصائص جودة الأفلام والأنظمة الإستشعارية بوجه عام ، ويرتبط هذا المصطلح بالأنظمة ذات العلاقة ، وتختلف قوه تفريق العدسات أو النظام البصري مثلاً عن قوة تفريق الفيلم وهكذا ، فمثلاً تبلغ قوة تفريق الماسح الخطي (TM) في لاندسات ٣٠م ، وهي تقابل ما يسمى حقل الرؤية اللحظي للماسح الخطي (IFOV) ، أما قوة التفريق في الصورة فتعني عدد أزواج الخطوط التي يمكن تمييزها بصرياً بالوحدة المساحية ، ويمكن التعبير عن قوة التفريق في الأفلام بعرض أضيق زوج من الخطوط يمكن تسجيلهما منفصلين في هدف إختياري أحدهما أسود والآخر أبيض .

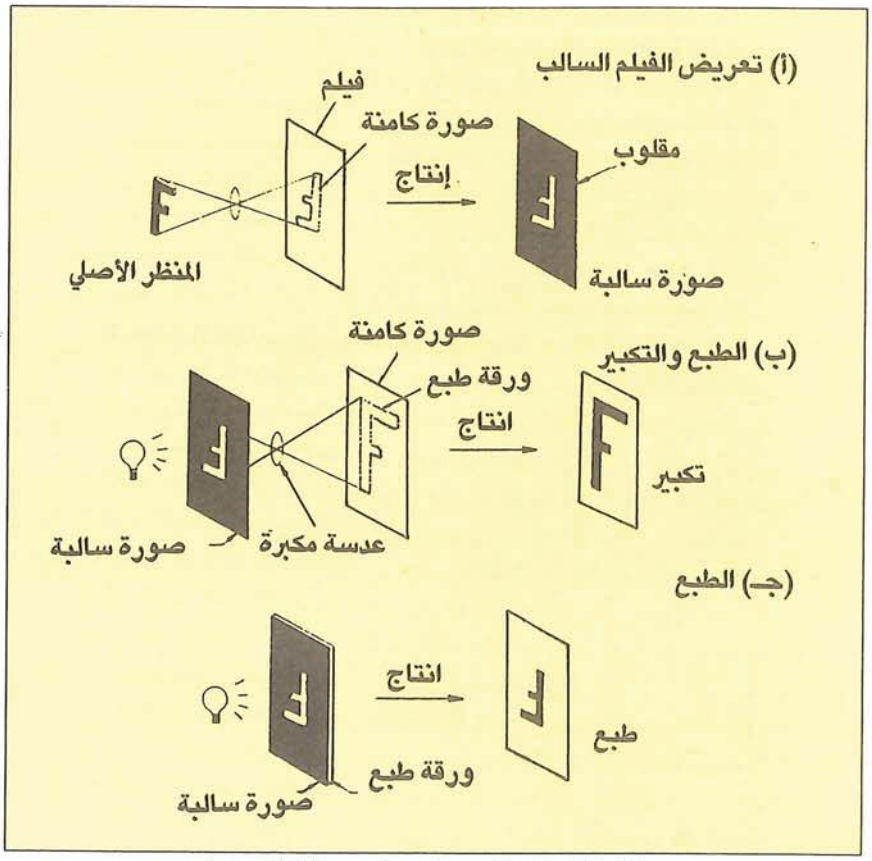
هناك أربعة أنواع من الافلام التي تستخدم في المسح الجوي هي كما يلي :ـ

● **الأفلام الشاملة « البانكروماتية »** : وهي أفلام تقليدية (أبيض – أسود)تعمل في المجال المرئي من (٠,٣٦ – ٠,٧٢ ميكرومتر). ويستخدم معها عادة المرشح الأصفر (ناقص الأزرق -Minus Blue) وتكون نقطة القطع أو العزل (Cut-off) عند ٠,٤٧ ميكرومتر لأغراض التصوير الجوي .

* **أفلام الأسود والأبيض تحت الحمراء** : وتتسع حساسية هذا النوع من الأفلام للموجة (٠,٣٦ – ٠,٩٠ ميكرومتر) للحصول على أقصى درجات الفائدة من التصوير ، في هذا النوع من الأفلام يستخدم المرشح «ناقص

الأزرق» ، ولكن لابد أن يكون أقوى من حالة الأفلام الشاملة للتخلص من تأثير ظاهرة عدم الوضوح والغموض (Haze) الناشئة من التشتت الضوئي الذي تسببه مكونات الجو ، ومن مساوىء هذه الأفلام أن المناطق الواقعة في الظل والتي تكون منارة بوساطة الضوء المنعكس والمشتت في الموجة القصيرة تظهر داكنة جدا بالصورة وتكون التفاصيل في هذه المناطق صعبة التمييز . يمتص الماء الأشعة تحت الحمراء إمتصاصاً كبيراً ولذا فإن المسطحات المائية والتربة الرطبة تظهر بوضوح في الأفلام تحت الحمراء أكثر من الأفلام الشاملة ، وتظهر داكنة جداً في الصورة الموجبة (Positive) ، ومن جانب آخر فإن للنباتات الحية إنعكاس عال في الأشعة تحت الحمراء وتظهر ساطعة (Bright) مقارنة مع وضعها في الأفلام الشاملة حيث تبدو داكنة .

● **الأفلام ذات الألوان الطبعية** : يبين الشكل (٤) أن لهذا النوع من الأفلام ثلاث طبقات حساسة ، وتقترن حبيبات الهاليدات في كل طبقة بصبغه (Dye) مصاحبة لها تعمل كمرشح لأحد الموجات المرئية الأساس (الزرقاء والخضراء والحمراء)، وفي عملية تحميض الفيلم المُظْهَر تتجلى صورة فضية في كل طبقة كما يحدث في عملية معالجة الفيلم الابيض والأسود ولكنها مصحوبة بصورة ذات صبغ ملونة ، وتعمل المعالجة اللاحقة على إزالة الفضة تاركة الصور الثلاث المصبوغة والتي تحتوي على جميع المعلومات الضرورية لإنتاج منظر فوتوغرافي ملون ، إما في حالة الطبقة الحساسة ذات الألوان الحقيقية فإن الطبقة الحساسة للموجة الزرقاء تكون في الجهة العليا المواجهة للمنظر والطبقة الحساسة للموجة الحمراء في الأسفل قريبة من قاعدة الفيلم ، وتمنع الطبقة التي توجد تحت الطبقة الحساسة عملية الإرتداد والتجاوز الضوئي (Anti-halation) من قاعدة الفيلم ، حيث يقوم المرشح الأصفر أو الحاجب البرتقالي في الفيلم والذي يقع تحت الطبقة الزرقاء بتدعيم دقة الألوان عن طريق تقليل كمية الضوء ذي الموجة القصيرة الذي يمر عبر الطبقة الزرقاء ، يمكن أن يكون الترتيب السابق للطبقات الحساسة مقلوباً كما في أفلام مركبتي الفضاء المأهولتين جيمني (Gemini) و أبولو (Apollo) حيث كان الترتيب العادي للفيلم أن تكون الطبقة الحمراء هي العليا لتسهيل إلتقاط أكبر كمية من الضوء ذي الموجة الطويلة وذلك لإختزال التأثيرات المتغيرة للأشعة المنعكسة المخترقة للغلاف الجوي المليء بالمشتتات .



● شكل (٣) مراحل تكوين الصورة من سالبة إلى موجبة .

تتميز الأفلام ذات الألوان الطبعية بنفس القدر من الحساسية الطيفية كما في الأفلام الشاملة ، ولكنها أبطأ وتحتاج إلى ظروف ضوئية ممتازة إذا ما تم إستخدامها في التصوير الجوي .

مما يجدر ذكره أن هناك نوعان من الأفلام ذات الألوان الطبعية هي:-

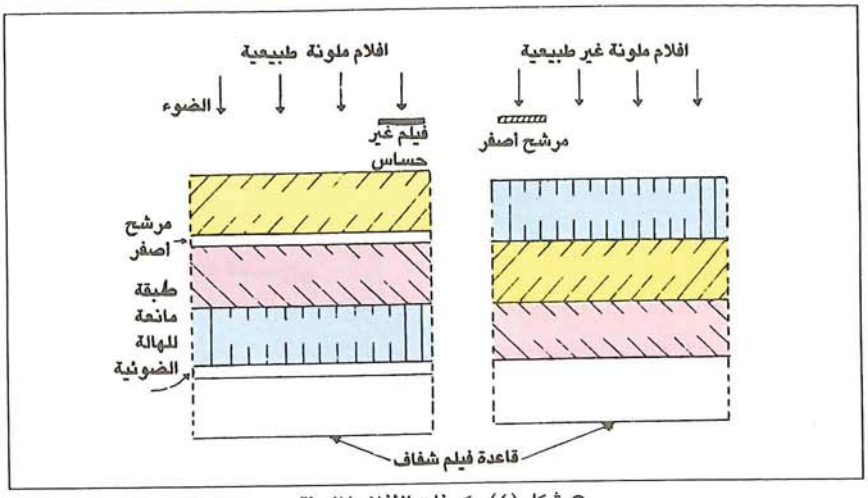
* **الأفلام الملونة السالبة** : وتتكون الصورة أساساً في ألوانها المتتامة الأصفر (Yellow) الأحمر الأرجواني (Magenta) والأزرق الداكن (Cyan) المتممة للألوان الأزرق والأخضر والأحمروالناتجة من مزجها مع بعضها ، ولإنتاج طبعة موجبة ذا ت ألوان طبعية يتوجب نقلها إلى لوح حساس آخر.

* **الأفلام الملونة المقلوبة** : وتكوّن صورة موجبة من هاليدات الفضة الباقية بعد التحميض والإظهار الأساس وذلك لإنتاج صورة ذات ألوان طبعية على هيئة صورة متمثلة على ورق شفاف.

● **الأفلام ذات الألوان غير الطبعية** : ويتكون هذا النوع من طبقتين حساستين مندمجتان مع طبقة حساسة للأشعة القريبة من تحت الحمراء (Near infrared) وبسبب كون الأشعة المسجلة في هذا النطاق الموجي غير مرئية يتوجب ربطها بلون حتى تصبح مرئية ، وهذا يؤدي إلى منع الربط بين الألوان الطبيعية العادية للألوان الأساس الثلاثة لنطاقاتها الموجية المقابلة . لقد تم تطوير الفيلم المعروف بإسم ايكتاكروم تحت الأحمر (Infrared Ectachrome) أساساًمن فيلم خاص بالكشف عن التمويه (Comouflage Detection film) حيث يتم في هذا تسجيل الأشعة القريبة من تحت الحمراء بالأحمر ، والضوء الأحمر بالأخضر والضوء الأخضر بالأزرق ، ويمنع الضوء الأزرق من التعرض للفيلم (Exposing) بوساطة مرشح أصفر أقوى من ذلك المستخدم مع الأفلام ذات الألوان الطبيعية ، وهذه عادة هي المرشحات من سلسلة Wratten وهي Wratten ١٢ و ١٤ بحد قطعي cut-off عند ٥٥, ميكرومتر وتظهر فائدة هذا النوع من الأفلام في مقدرته على تجسيم الإختلافات في الغطاء النباتي الحي إلى عدة درجات من اللون الأحمر وهو ما يميزه عن اللون الأخضر .

تحسين الصور الفوتوغرافية

التحسين (Enhancement) هي عملية إستخلاص المعلومات من الصور التي يتعذر



● شكل (٤) مكونات الأفلام الملونة .

إستخلاصها بوساطة المعاينة البصرية ، ويتم ذلك بعدة طرق منها المعالجة الضوئية الكيميائية التي تتميز بالسرعة وقلة التكاليف مقارنة بالطرق الإلكترونية ، ولكن يعوق هذه المميزات إعتمادها على التفاعل الكيميائي الذي يصعب التحكم فيه بالإضافة إلى صعوبة الحصول على معلومات كمية ، ومن الأمثلة على التقنية المستخدمة في تحسين درجة حدة الصورة (Contrast Streaching) ، يتم إستخدام عدة مستحلبات (Emulsions) ومظهرات (Developers) مختلفة وذلك بتغيير زمن التحميض ، ومن الأهمية بمكان هنا إختيار نوع الفيلم والمظهرات التي تقوم بمقابلة المدى التباييني الضوئي لإحداث الأثر المطلوب ، وهناك مثال آخر هو تقنية التحجب الغامض (Unsharp Masking) والتي تستخدم لإبراز الخطوط الموجودة بالصورة الممثلة لتكوينات جيولوجية مهمة ، وتقوم عملية التحجب الغامض ببساطة على إلغاء التردد المنخفض (قلة الإضاءة بالنسبة للمسافة) من الصورة ليتم إبراز التردد العالي (زيادة معدل الإضاءة بالنسبة للمسافة)وبالتالي إبراز المظاهر الجيولوجية التي تبدو في الصورة كنسيج من الخطوط ، وفي هذه التقنية يتم ـ بتأن ـ عرض فيلم شفاف موجب لنسخة فيلم تصاحبه صورة سالبة ضبابية – ذات تردد منخفض – مما يؤدي إلى حذف أغلبية المعلومات ذات التردد المنخفض وترك التفاصيل النسيجية ذات التردد العالي .

معالم تطور التصوير الفضائي

مر التصوير الفضائي بعدة مراحل يمكن إدراجها عبر المراحل التاريخية التالية :ـ

١ ـ التصوير من صواريخ الإستطلاع

ألتقطت أول صورة من الفضاء بوساطة كاميرا عادية ذات بعد بؤري ٣٥ ملم مثبته على صاروخ أخترعه وطوره العالم الألماني فيريز فون براون في الولايات المتحدة بعد الحرب العالمية الثانية مباشرة ، وقد أدت النتائج التي توصل لها عبر ذلك إلى البدء في مشروع فايكنج (Viking) في رحلتيه ١١ و ١٢ اللتين حملتا كاميرات ضخمة من نوع K-25 مع أفلام الأشعة تحت الحمراء إلى إرتفاع يناهز ٢٢٥ كم ووفرت صوراً على درجة عالية من الجودة والتغطية ، ويمكن تلخيص مميزات التصوير من صواريخ الإستكشاف ـ خصوصاً بعد إستخدامه حديثاً عبر الصاروخ البريطاني سكايلارك (Skylark) للإستخدامات الزراعية ـ بأنها تلبي حاجة مستعمليها حين تتوفر الظروف الجوية المناسبة ، وعدم حاجتها لأجهزة المساندة الأرضية من محطات إستقبال وغيرها حيث يتم إسترجاع فيلم التصوير بسهولة .

٢ ـ التصوير من توابع الأرصاد الجوية

إتضحت أهمية الرصد الجوي من التوابع الصناعية منذ فترة طويلة ، وحتى قبل بداية إطلاق التوابع الصناعية ، كانت الصور التلفزيونية ذات قدرة تفريق منخفضة، ويعد سيروس ـ١ الذي وضع في مداره المرسوم عام ١٩٦٠م أول تابع للأرصاد الجوية وتشكل صور هذه التوابع روافد مساندة لعمل الخرائط الجيولوجية .

٣ـ تصوير الأرض

مر تصوير الأرض بوساطة التوابع بالمراحل التالية:ـ

● برامج ميركوري وجيمني

بدأت رحلتا ميركوري وجيمني المأهولتين (Mercury and Gemini Spacecraft) : MA-8 و MA-9 لتصوير المظاهر الجيولوجية من كاميرا يدوية – أضخم كاميرا تحمل في المراكب الفضائية الأولية – ذات بعد بؤري ٨٠ ملم وفيلم ٧٠ ملم ، وقد وفرت الرحلة MA-8 صوراً ملونة من جيدة إلى ممتازة لمناطق في الولايات المتحدة. ثم قامت الرحلة الأخيرة (MA-9) بتصوير مناطق نائية غير مدروسة في آسيا ، مما أدى إلى قيام مهمة جيمني في رحلاتها المأهولة التي بدأت ١٩٦٥م واستغرقت عدة أيام ، وقد كانت رحلة جيمني – ٤ (GT-4) علامة بارزة في التصوير المداري من الفضاء ، وقد أيدت النتائج التي أبرزتها برامج ميركوري وبعدها جيمني وخصوصاً جيمني ـ٤ ، أهمية تلك الصور في دراسة زحف الرمال والتصحر وحقل التغير الأقليمي.

● برنامج أبولو

كان الهدف الأساس لهذا البرنامج نزول الإنسان على سطح القمر ولكنه في الواقع وفر إلى جانب ذلك زخماً من الخبرة في التصوير المداري ودعم إتجاه ظهور برنامج لاندسات ، وقد حددت تجربة الكاميرا SO65 المتعددة النطاقات ملامح مفهوم وعمل لاندسات مستقبلياً ، وقد حملت أبولو٦ غير المأهولة في عام ١٩٦٧م كاميرا آلية ذات بعد بؤري ٧٠ ملم قامت بتغطية كاملة لنصف الأرض المشرق تميزت بدرجة عالية من الجودة بالإضافة إلى مناطق مشتركة (Overlap) ، وفي برنامج المركبة المأهولة (أبولو ٧) التي إنطلقت عام ١٩٦٨م تمكنت كاميرا التصوير الأرضي في التجربة SO65 من إلتقاط ٢٠٠ صورة ذات جودة عالية ولكن لم يتم دراستها بشكل دقيق .

● مختبر الفضاء

تمت عدة إختبارات للتصوير بوساطة مختبر الفضاء (Skylab) – عبارة عن هيكل فضائي يزن ١٠٠ طن أرضي — عبر ثلاث رحلات مأهولة كانت أطولها ٨٤ يوماً خلال عامي ١٩٨٣–١٩٨٤م ، وكان من ضمن أهداف برنامج التجارب على متن المختبر تقييم إستخدام أجهزة الإستشعار عن بعد في تطبيقات المصادر الطبيعية الأرضية ، وقد كان المختبر مزوداً بكاميرا متعددة الأطياف ذات ٦ قنوات وكاميرا أرضيه (ETC) ذات بعد بؤري طويل جداً بالإضافة إلى كاميرا يدوية يقوم الطاقم بالتصوير منها .