الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعة دمشق
كلية الآداب والعلوم الإنسانية

الاستشعار عن بعد
ونظم المعلومات الجغرافية

الدكتورة
صفية جابر عيد
أستاذ في قسم الجغرافية

الدكتورة
أسماء محمد مروان الفوال
أستاذ مساعد في قسم الجغرافية

الدكتورة
هالة حمزة قابيل
مدرس في قسم الجغرافية

1444-1443 هـ
2021 -2022 م
جامعة دمشق

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

فهرس المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
المقدمة	**11**
الجزء الأول	**15**
الفصل الأول: مدخل إلى علم الاستشعار عن بعد	**17**
1.1- مقدمة	19
2.1 - تعريف الاستشعار عن بعد	20
3.1 – أهمية الاستشعار عن بعد	21
4.1 – مراحل تطور الاستشعار عن بعد	21
5.1 - بيانات الاستشعار عن بعد	25
6.1- مراحل عمل الاستشعار عن بعد	27
7.1- خصائص صور الاستشعار عن بعد	28
الفصل الثاني: أسس الاستشعار عن بعد	**33**
1.2- مقدمة	35
2.2 - مصدر الطاقة	35
3.2 – الممر الإشعاعي	41
4.2 - الظاهرة أو الهدف	45
5.2 - جهاز الاستشعار أو المشعر	51
الفصل الثالث: التصوير الجوي	53
1.3- مقدمة	55
2.3 - خصائص التصوير الجوي	56

3.3- أفلام التصوير الجوي (الفوتوغرافية)..... 57
4.3- آلات التصوير الجوي 65
5.3 - أنواع الصور الجوية 72
6.3- المساحة التصويرية (الفوتوغرامتري)..... 76
7.3- التقاط الصور العمودية 77
8.3 – حساب مقياس الصورة الجوية العمودية..... 83
9.3- تغطية الأرض بالصور الجوية والتخطيط لعملية الطيران..... 95
10.3- التشويه الناتج في الصور الجوية..... 101
11.3- الرؤية المجسمة..... 113
12.3- الأجهزة الأساسية المستخدمة في تفسير الصورة الجوية..... 117
الفصل الرابع: التصوير الفضائي 123
1.4- مقدمة..... 125
2.4- المواسح متعددة الأطياف..... 125
3.4- الماسح الحراري..... 131
4.4- أجهزة الاستشعار الميكروية..... 136
5.4- الأشعة الصوتية..... 148
الفصل الخامس: الأقمار الصناعية الخاصة بمسح موارد سطح الأرض..... 153
1.5- مقدمة..... 155
2.5 – مدارات الأقمار الصناعية..... 155
3.5- الأقمار الصناعية الخاصة بالدراسات الميترولوجية NOAA..... 157
4.5- أقمار لاندسات Landsat..... 159
5.5- أقمار سبوتSPOT 174
6.5- الأقمار الهندية آيرس IRS 182

7.5- أقمار إيرس الأوروبية ERS 185
8.5 – القمر الصناعي الياباني جيرس JERS 186
9.5- القمر الصناعي أورب فيو Orb View..... 188
10.5- المشعر آستر Aster..... 190
11.5- القمر الصناعي إيكونوس Ikonos 193
12.5- القمر الصناعي كويك بيرد Quick Bird 195
13.5- القمر الصناعي كبيرس CEBRES..... 197
14.5- القمر الصناعي فورموسات FormoSat 200
15.5– القمر الصناعي كارتوسات Cartosat..... 202
16.5 - القمر الصناعي ألوس ALOS..... 204
17.5- الأقمار الصناعية ورد فيو World View..... 208
18.5- أقمار جيو آي GeoEye..... 210
19.5 – أقمار سانتينل Sentinel 212
20.5- آلات التصوير الروسية 216
الفصل السادس: تطبيقات الاستشعار عن بعد **219**
1.6 - مقدمة..... 221
2.6 - تطبيقات زراعية..... 221
3.6 - تطبيقات مناخية..... 229
4.6- تطبيقات الاستشعار عن بعد في مراقبة الغابات ودراستها..... 235
5.6- تطبيقات جيولوجية..... 244
6.6 - تطبيقات هيدرولوجية..... 256
7.6 - تطبيقات غطاءات الأراضي واستعمالاتها..... 266
8.6- تطبيقات الخرائط وتطويرها..... 277

9.6- تطبيقات مراقبة البحار والمحيطات..... 287
10.6- تطبيقات بيانات الليدار Lidar..... 295
فهرس مصطلحات الجزء الأول..... 305
فهرس أشكال الجزء الأول..... 317
فهرس جداول الجزء الأول..... 325
المراجع العربية 327
المراجع الأجنبية..... 329
الجزء الثاني 333
الفصل الأول: مفهوم نظم المعلومات الجغرافية وعلاقتها بالعلوم الأخرى.... 335
1.1- مقدمة..... 337
2.1- مفهوم نظم المعلومات الجغرافية 338
3.1- علاقة نظم المعلومات الجغرافية بالأنظمة الأخرى..... 341
الفصل الثاني: مكونات نظم المعلومات الجغرافية ووظائفها..... 347
1.2- مقدمة..... 349
2.2- المكونات المادية (الصلبة)..... 503
2.3- البرمجيات..... 362
2. 4- البيانات والمعلومات المكانية 367
2. 5- المستخدم أو العنصر البشري..... 373
2. 6- الإجراءات و التحاليل..... 379
7.2- وظائف نظام المعلومات الجغرافية وتطبيقاته..... 380
فهرس مصطلحات الجزء الثاني..... 387

فهرس أشكال الجزء الثاني..... 391

فهرس جداول الجزء الثاني..... 391

مراجع الجزء الثاني..... 393

المراجع العربية..... 393

المراجع الأجنبية..... 395

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المقدمة

في كل زمان يحاول الإنسان استكشاف المجهول بكل ما أوتي من عزم وإرادة لصنع المعرفة التي ترقى بها الشعوب، والتي تزداد تطوراً وغنى مع مرور الوقت.

إن المغامرة التي خاضها الإنسان باستكشافه الفضاء شكلت انطلاقة فريدة لتخطي حدودٍ جديدةٍ، فتحت أمامه أبواباً واسعة من إنجازات كثيرة في عالم الفضاء. وقد ساعدت هذه الإنجازات الإنسان في معرفة أوسع وفهم أعمق للأرض التي يعيش عليها.

يُعدّ الاستشعار عن بعد من أهم التقانات الحديثة التي ساهمت في تطور العلم وتقدمه بفضل الدقة المتناهية في الحصول على المعلومات المرسلة من الوسائل الفضائية المختلفة. كما أصبح الاستشعار عن بعد من العلوم الأساسية المستخدمة في حل كثير من القضايا الجغرافية المتعلقة بالأرض والظروف البيئية.

كما أن التطور الكبير والسريع الذي شهدته العقود الأخيرة في المعلوماتية أحدث ثورة شاملة في مختلف نواحي الحياة نتج عنها كم هائل من المعلومات، ومن ثمّ فإن استخدام هذه المعلومات في تنمية المجتمعات البشرية، وتنمية موارها تنمية مستدامة يتطلب توظيفها في تحقيق هذه التنمية، ولتحقيق ذلك كان لابد من الاتجاه إلى تأهيل الأسس البشرية القادرة على استيعاب أكبر قدر من هذه المعلومات وفهمها وتحليلها لاستخدامها في التنمية لاحقاً.

لعل أهم ما ميز العقود الأخيرة من القرن العشرين ظهور الأساليب التقنية الحديثة التي تساعد في ذلك، وفي مقدمتها نظم المعلومات الجغرافية التي ظهرت

أواخر القرن الماضي .حيث أصبحت هذه التقانات من متطلبات بل من أساسيات أي عمل أو مشروع مرتبط بالمكان. ونظراً للاهتمام المتزايد في نظم المعلومات الجغرافية لدورها الكبير في رفع سوية العمل والأداء ومساهمتها الفعالة في اتخاذ القرارات الصحيحة في مختلف الميادين (الخدمية والإدارية والتخطيطية المختلفة وغيرها؛ فقد احتوت المكتبة العربية مجموعة من الكتب التي اهتمت بهذه التقانات ولا سيما نظم المعلومات الجغرافية وتناولت مفهومها ومكوناتها، ووظائفها وتطبيقاتها وبعض الكتب ركز على البرمجيات وطريقة استخدامها.

لذا، نود في الجزء الأول أن نلقي الضوء على مفهوم علم الاستشعار عن بعد وأهميته وأسسه وأهم تطبيقاته، حيث احتوى الفصل الأول على تعريف علم الاستشعار عن بعد وأهميته ومراحل تطوره ومراحل عمله وأنواع بياناته وخصائصها. وتناول الفصل الثاني أسس الاستشعار عن بعد وتفاعلات الطاقة مع الغلاف الجوي ومع سطح الأرض. وقد ركز الفصل الثالث على التصوير الجوي وأنواع الصور الجوية والأجهزة المستخدمة في تفسيرها، بالإضافة إلى توضيح كيفية حساب مقياس الصورة الجوية مع بعض الأمثلة الحسابية. أما الفصل الرابع فقد خُصص للتصوير الفضائي وأنواع المواسح الإلكترونية المستخدمة وشرح خصائصها. في الفصل الخامس، عرض أهم الأقمار الصناعية الخاصة بمسح موارد سطح الأرض وخصائص صورها الفضائية. وبحث الفصل الأخير في التطبيقات المتنوعة لصور الاستشعار عن بعد في مجالات جغرافية عديدة.

سنركز في الجزء الثاني على الأسس النظرية لنظم المعلومات الجغرافية، حيث يشمل فصلين أساسين: يتناول الفصل الأول مفهوم نظم المعلومات الجغرافية وعلاقتها بالعلوم الأخرى، ويوضّح الفصل الثاني مكوناتها، وأهميتها،

ووظائفها، وتطبيقاتها لأن مستخدم النظام يجب أن يكون ملماً بالجانب النظري، وأن يكون لديه معرفة كافية وافية عن هذه النظم بوصفه علماً وليس بوصفه تقنيةً وأداةً، إضافة إلى إلمامه بعلم الخرائط وأساسياته، المساقط وأنواعها، والتشويه الذي يحتوي كلاً منها كي لا يكون مستخدماً للبرنامج من الناحية الفنية لأن البرمجيات لا تعتمد استخدام الأداة فقط وإنما هي تحليل لما ينتج عن استخدام هذه الأداة لاستخدامها في الدراسات والمشاريع اللاحقة.

آملين أن يكون هذا الكتاب إضاءةً مفيدة لكل مهتم ومستخدم لهذه التقانات الحديثة (الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية) من حيث فهمها، والاستفادة من تطبيقاتها.

والله ولي التوفيق

المؤلفون

وقل رب زدني علما
Damascus University

الجزء الأول

الاستشعار عن بعد

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

مدخل إلى علم الاستشعار عن بعد

Introduction to Remote Sensing

1.1– مقدمة

2.1 – تعريف الاستشعار عن بعد

3.1 – أهمية الاستشعار عن بعد

4.1 – مراحل تطور الاستشعار عن بعد

5.1 – بيانات الاستشعار عن بعد

6.1– مراحل عمل الاستشعار عن بعد

7.1– خصائص صور الاستشعار عن بعد

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الأول: مدخل إلى علم الاستشعار عن بعد

1.1- مقدمة

إنّ العين البشرية تقدم لنا الكثير من المعلومات عن المحيط (حيث تستقبل العين هذه المعلومات من خلال الشبكية) ثم تعمل على تفسيرها من خلال الخبرات التي نمتلكها. فالعين تقوم بدور المستشعر الذي يتحسس الضوء المنعكس، والمعطيات التي يتم الحصول عليها نتيجة لذلك هي ومضات تتناسب مع كمية الضوء المنعكس من مظاهر سطح الأرض.

من المعلوم أن البيئة التي تحيط بنا تتغير بشكل مستمر وهذا يعني أن المظاهر الجغرافية تتعرض للتغير بشكل دائم سواءً كانت (مظاهر جوية أم تغيرات فصلية وغيرها...) وهذه التغيرات تتأثر بشكل كبير بنشاط الإنسان، لذلك لا بد من فهم ما يحدث في الطبيعة بشكل أفضل من أجل تخطيط النشاط البشري ومراقبة تأثيره، وهذا كله يتطلب معلومات كثيرة عن حالة البيئة الجغرافية وتغيراتها. أما إمكانية الحصول على المعلومات فيتم من خلال ثلاث طرق:

أ- القياس المباشر: حيث توضع أجهزة القياس في المكان المراد قياس الظاهرة فيه. على سبيل المثال وضع جهاز الترمومتر في كأس لقياس درجة الحرارة.

ب- القياس البعيد: حيث توضع أجهزة القياس بعيدة عن المكان المراد قياس الظاهرة فيه، يوضع جهاز رصد درجة حرارة الأتموسفير بوساطة النبضات الراديوية.

ت- القياس غير المباشر عن طريق الاستشعار عن بعد: حيث توضع أجهزة القياس بعيداً عن المكان المطلوب القياس فيه للحصول على المعلومات. وذلك من خلال قياس انعكاس الأشعة الكهرومغناطيسية وامتصاصها (على سبيل المثال قياس درجة

حرارة الماء من خلال ماسح حراري محمول على طائرة أو أية وسيلة استشعار أخرى).

2.1 – تعريف الاستشعار عن بعد Definition of Remote sensing

استُخدم مفهوم الاستشعار عن بعد قد في بدايات الستينيات من القرن الماضي ويُعرف على أنه علم وفن وتقنية الحصول على البيانات عن ظاهرة ما من خلال تحليل المعلومات التي تم الحصول عليها من خلال أجهزة بعيدة عن الظاهرة.

أو هو مراقبة غير مباشرة للظاهرة والحصول على معلومات عنها دون التماس المباشر معها من خلال أجهزة مختلفة.

أما Albertz (1991م) فقد عرّف الاستشعار عن بعد بأنه طريقة استخراج المعلومات عن ظاهرة ما، من خلال مراقبة الإشعاع المنعكس عن هذه الظاهرة وقياسه. و Bonn و Rochon (1992م) قدما أيضاً تعريفاً للاستشعار عن بعد يتضمن الحصول على معلومات من مسافة، دون تماس مباشر مع الجسم المدروس.

وهناك من عرفه بأنه مراقبة قوة الإشعاع الممتص والمنعكس من الظواهر الموجودة على سطح الأرض أو في المحيطات أو في المجال الجوي وقياسها وذلك ضمن موجات كهرومغناطيسية ذات أطوال مختلفة.

أو هو طريقة مراقبة غير مباشرة تقدم لنا معلومات عن الواقع الحالي للمحيط الجغرافي دون التماس المباشر مع هذا المحيط.

لكن لفهم الاستشعار عن بعد لا بد من فهم ما يلي:

- البيانات الناتجة عن المظاهر الأرضية باستخدام الأشعة الكهرومغناطيسية.
- أجهزة استقبال الأشعة والمحمولة على الوسائط الجوية (طائرات، أقمار صناعية، أو غيرها).
- طبيعة المظاهر الأرضية المختلفة.

3.1 – أهمية الاستشعار عن بعد

تغطي صور الاستشعار الجوية والفضائية مساحات شاملة من الظواهر الجغرافية المختلفة بفضل تقاناتها في القياس عن بعد. وتُعدّ صور الاستشعار مصدراً أساسياً للبيانات المكانية بدقات تمييز كبيرة خلال فترات زمنية قصيرة جداً. وهي تحمل معلومات موضوعية تختص بدراسة موارد أرضية معينة كالموارد المائية والنباتية والمعدنية. كما يؤدي الاستشعار عن بعد دوراً أساسياً في دراسة التغيرات التي تطرأ على مظاهر الأرض الطبيعية والبشرية من توسع ونقصان وتدهور وعمران، وما ينتج عن تأثير الإنسان بشكل سلبي في الموارد الأرضية وما تتعرض له من أضرار وتلوث، وذلك من خلال استخدام صور مأخوذة بفترات متكررة للمنطقة نفسها. وقد استفادت كثير من العلوم من هذه البيانات وفي مقدمتها علم الجغرافية والكارتوغرافية والمساحة والطبوغرافية، حيث يقدم الاستشعار عن بعد صوراً رقمية ومُرجَعة يسهل التعامل معها وتخزينها ومعالجتها. بالإضافة إلى كون هذه المعطيات تُشكل مصدراً مهماً للمعلومات الطيفية المختلفة التي تُسجّل عن المناطق المدروسة، بوساطة مشعرات متنوعة مجهزة لقياس الأشعة المنعكسة أو المنبعثة عن مظاهر الأرض ضمن مجالات طيفية ذات أطوال موجية محددة.

4.1 – مراحل تطور الاستشعار عن بعد History of Remote Sensing

تطور علم الاستشعار عن بعد على مر السنين وتوسعت آفاقه العلمية بما تميز به من إمكانات وتقانات، تبلورت خلال مراحله التاريخية الطويلة.

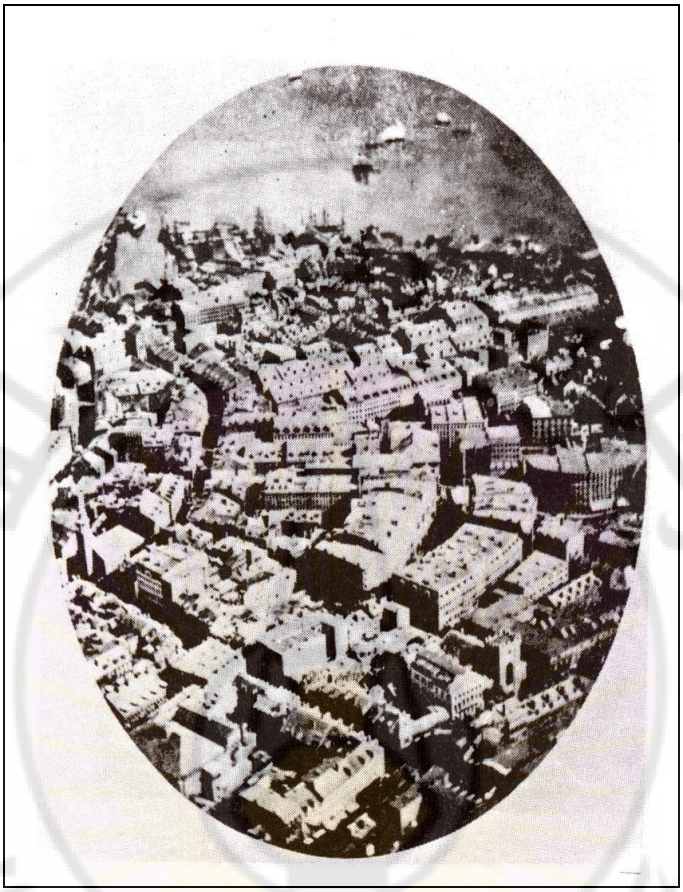
يمكن أن نلخص السيرة التاريخية لعلم الاستشعار عن بعد من خلال ثلاث مراحل لكل منها خصائصه وميزاته، وهذه المراحل هي:

1.4.1- المرحلة الأولى: مرحلة التصوير الجوي الأولى

تعود بدايات الاستشعار عن بعد إلى فترة استخدام البالونات في التصوير في منتصف التسعينيات، حيث اخترعت فيها آلات التصوير التي حُمّلت في البالونات وصُوّرت بعض مظاهر الأرض من خلالها. فقد قام العالم الفرنسي (Nadar) في عام 1858م بالتقاط أول صورة من الجو فوق مدينة باريس من ارتفاع 80 متراً. وأقدم صورة جوية تم التقاطها من الجو من قبل الأمريكي (Games Black) عام 1860م لمدينة بوسطن الأمريكية بوساطة منطاد حلق على ارتفاع 630 متر (انظر **الشكل 1**).

تتالت المحاولات لالتقاط الصور باستخدام البالونات والمناطيد حتى بداية القرن العشرين، الذي تميّز باختراع الطائرة والتقاط أول صورة على متنها عام 1909م من قبل الأخوين رايت (Wright). ويُعدّ هذا التحليق بداية لمرحلة جديدة في التصوير الجوي. ثم تزايد الطلب على الصور خلال الحرب العالمية الأولى (1914م-1918م) لمتابعة حركات الجيوش ومعرفة مواقعها. وقد أدى ذلك إلى تطوير الأجهزة المستخدمة في التصوير الجوي، وصُنعت آلة تصوير خاصة بالطائرات في أواخر الحرب العالمية الأولى. وحدث التطور الكبير في أجهزة الاستشعار بما فيها العدسات ذات الزوايا الواسعة التي أنتجتها الشركة الألمانية كارل زايس (Karl Zeiss) عام 1934م.

تتصف هذه المرحلة بتوسع عملية التصوير الجوي وانتشاره في مجالات عديدة (كالجغرافية والغابات والآثار وغيرها)، واكتُشفت مناطق شاسعة من العالم كالقارة القطبية الجنوبية وجزيرة غرينلاند. كما كانت هذه المرحلة طويلة وبطيئة التطور وامتدت منذ بداية اختراع البالونات حتى بداية الحرب العالمية الثانية.



شكل (1): مدينة بوسطن التقطت عام 1860

2.4.1 - المرحلة الثانية: مرحلة التصوير الجوي الثانية

تمتد من بداية الحرب العالمية الثانية (1939-1945) حتى أواخر خمسينيات القرن الماضي، حيث استخدمت الصور الجوية بشكل واسع في عمليات الاستطلاع والتجسس ولاسيما لتحديد المواقع العسكرية وتقدير الخسائر. وخلال الحرب تطورت صناعة الطائرات بشكل كبير، الأمر الذي رافقه أيضاً تطور سريع في وسائل التصوير وعدساته.

وقد استُخدمت الأفلام الملونة في أثناء التصوير، كما استخدمت الأشعة تحت الحمراء في التصوير والأفلام تحت الحمراء الملونة في عام 1942م من قبل كوداك (Kodak)، بعد ذلك طوّر ما يسمى تفسير الصور الجوية في الولايات المتحدة الأمريكية

ولم تكد الحرب العالمية الثانية تضع أوزارها حتى أصبح هناك عدد كبير من محللي الصور الجوية. خلال الفترة التي تلت الحرب العالمية الثانية إلى عام 1950م، تنوعت استخدامات الصور الجوية التي كانت محصورة في الأغراض الحربية ودُرست الكثير من مظاهر سطح الأرض.

3.4.1 – المرحلة الثالثة: مرحلة التصوير الفضائي

تُعدّ هذه المرحلة من أهم مراحل تطور الاستشعار عن بعد الذي خرج من حدود الجو ليدخل مجالات الفضاء، حيث أُطلقت الأقمار الصناعية المتعددة إلى الفضاء وتطورت وسائل الاستشعار وآلات التصوير التي تستخدم الأشعة تحت الحمراء فظهرت أجهزة التصوير الحراري. وفي أواخر الخمسينيات بدأت عملية إطلاق أول قمر صناعي سبوتنك (Sputnik1) في 1957/10/4 بجهود روسية، ثم تلتها الولايات المتحدة الأمريكية بإطلاق أول أقمارها المستكشف Explorer-1 في 1958/2/1.

لكن بداية الستينيات شهدت تطوراً نوعياً في هذا العلم وهو تحليق الإنسان إلى الفضاء الخارجي حيث حلق رائد الفضاء الروسي يوري غاغارين عام 1961م بوصفه أول رائد فضاء على متن المركبة الفضائية الروسية فوستوك1 (Vostok-1). وبعده حلقت المركبة الفضائية الأمريكية ميركوري Mercury وعلى متنها رائد الفضاء الأمريكي آلان شيبارد (A-Shepard). وفي عام 1972م، أُطلق أول قمر صناعي لدراسة موارد سطح الأرض (ERTS-A) الذي سُمي فيما بعد لاندسات (Landsat-1)

شهدت هذه المرحلة إطلاق مجموعات متنوعة من الأقمار الصناعية والمراكب الفضائية، كما أجريت التحسينات العديدة لآلات التصوير، فظهرت آلة التصوير MKF_6 الألمانية الصنع التي استُخدمت في المحطة الفضائية مير.

كما حمُّل الكثير من الأجهزة الحديثة على متن الأقمار الصناعية كالأجهزة الرادارية (كجهاز الألتيمترAltimeter) الذي يقيس المدى من القمر الصناعي إلى

سطح البحر والذي خصص لدراسة التيارات المحيطية والمد والجزر وقياس ارتفاع الأمواج، وجهاز سكاتيرومتر (Scaterometer) المخصص لدراسة الأمواج المتأثرة بالرياح وقياس سرعة الرياح واتجاهها. ويغطي مساحة عرضها من 200 إلى 700 كم. وجهاز قياس الطاقة الإشعاعية المنبعثة من سطح الأرض طبيعياً ويدعى الراديومتر(Radiometer) الذي يقيس درجة حرارة السطوع (Temperature Brightness)، وهو جهاز غير فعال لأنه يُسجّل الطاقة المشعة طبيعياً.

5.1 – بيانات الاستشعار عن بعد

يمكن تقسيم بيانات الاستشعار عن بعد حسب نظام تسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية تصويرياً أو إلكترونياً إلى نوعين من البيانات: بيانات فوتوغرافية وبيانات رقمية.

1.5.1 – بيانات فوتوغرافية (Analog data)

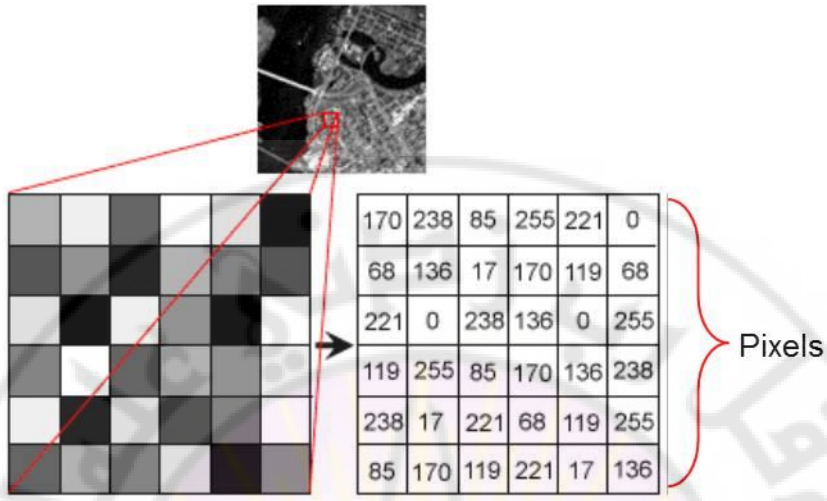
هي صور فوتوغرافية يُحصل عليها بوساطة أفلام تصوير خاصة، ضمن مجال طيفي محدود، حيث تستخدم طريقة التصوير تفاعلات كيميائية تتم على سطح فيلم حساس للضوء للكشف عن تغيرات الطاقة التي تحدث في المشهد المدروس. يُستخدم تعبير صورة فوتوغرافية للدلالة على الصور التي تُسجَّل على فيلم (انظر **الشكل 2**). وتظهر هذه البيانات عن طريق الطباعة الورقية ليتم التعامل معها، كما تتأثر بالظروف البيئية المحيطة بها من حيث طريقة الحفظ والتخزين وتحتاج إلى وقت وجهد كبيرين في عملية النسخ. وإنّ الحصول على صور جديدة يتم عن طرق تحميض أفلام تصوير جديدة مع إمكانية تأثر نوعية هذه الصور بظروف التصوير المختلفة. تخضع هذه البيانات لعملية التفسير البصري لاستخراج المعلومات.

شكل (2): مثال عن صورة فوتوغرافية من أفلام التصوير الجوي

2.5.1 – بيانات رقمية (Digital data)

هي صور مسجلة بصيغة رقمية أي شبكة من المربعات تدعى عنصر الصورة (Pixel) ضمن مجالات طيفية متعددة بوساطة مستشعرات إلكترونية التي تولّد إشارة كهربائية توافق تغيرات الطاقة التي تحدث في المشهد المدروس، و يُعبّر عن هذه التغيرات بشدات لونية لكل عنصر من عناصر الصورة حسب الانعكاسية المسجلة. وتُمثَّل القيم المقاسة في كل Pixel بأعداد صحيحة موجبة تدعى العدد الرقمي (Digital Number) انظر **الشكل 3**. ويتراوح مدى هذه الأعداد الرقمية من 0 إلى 63، أو من 0 إلى 127، أو من 0 إلى 255، أو من 0 إلى 511، أو من 0 إلى 1023 قيمة ممكنة وفقاً لنظام ترميز ثنائي أي $64=2^6$، $128=2^7$، $256=2^8$، $512=2^9$، $1024=2^{10}$ على التوالي.

ويتم إظهار البيانات الرقمية على الحاسوب، وهي لا تتغير بالظروف البيئية المحيطة. كما أنها سهلة النسخ دون تغيير أو فقد للمعلومات الأساسية، ويتم الحصول على صور جديدة من خلال عمليات المعالجة الرقمية (عمليات رياضية) مع المحافظة على الصور الأصل.



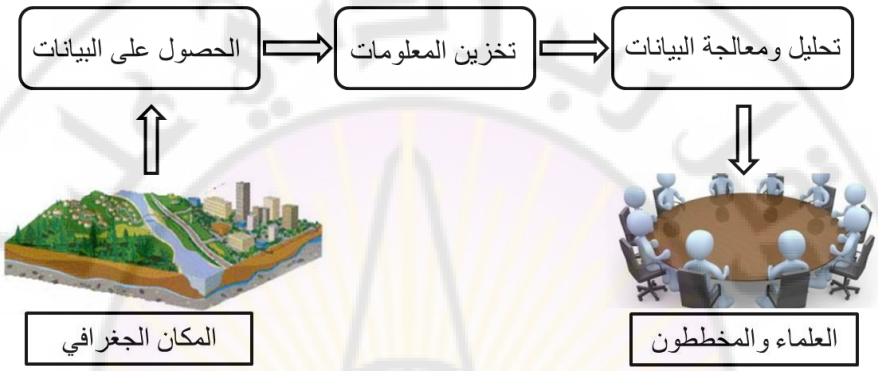
شكل (3): مثال عن صورة رقمية مؤلفة من شبكة من Pixels

6.1 – مراحل عمل الاستشعار عن بعد Remote Sensing steps

بما أن الاستشعار عن بعد هو طريقة غير مباشرة لمراقبة المظاهر ودراستها. فإن هذا يتم من خلال ثلاث خطوات هي:

1. الحصول على البيانات: وذلك من خلال قياس الأشعة الكهرومغناطيسية المنعكسة عن الظاهرة وهذا يتم من خلال مشعر محمول (Sensor) على وسيلة من وسائل الاستشعار، وفي هذه المرحلة تُدرس مجموعة من العناصر وهي:
   - مصدر الطاقة وانتشارها من خلال الغلاف الجوي.
   - تفاعل الطاقة مع مظاهر سطح الأرض.
2. تخزين المعلومات: إن المعطيات التي تم الحصول عليها تُخزّن إما على شكل صور (Photograph) أو بيانات رقمية (Digital data) من أجل استخدامها في وقت لاحق.
3. تحليل البيانات: يتم تحليل البيانات التي خُزّنت سابقاً وذلك حسب الغاية والهدف من التحليل، وهذه المرحلة تتألف بدورها من مراحل عدة هي:
   - استخدام أجهزة مختلفة تساعد في التفسير البصري، أو التحليل الآلي.

- القيام بعمليات القياس على الصورة.
- تفسير محتوى الصورة والوصول إلى استنتاجات لربط المظاهر بعضها ببعض، ونجاح هذه المرحلة يتوقف على مهارة المفسر وخبرته (انظر **الشكل 4**).



شكل (4): آلية عمل الاستشعار عن بعد

7.1 – خصائص صور الاستشعار عن بعد

تتميز معطيات الاستشعار عن بعد بعدد كبير من الخصائص مكنت من استخدامه في التطبيقات المختلفة، يمكن إيجاز هذه الميزات بما يلي:

1- رؤية شمولية (Synoptic vision):

إن الصورة الفضائية التي تُلتقط من ارتفاعات عالية تصل إلى 2000 كم تستطيع أن تغطي مساحات كبيرة تختلف من قمر صناعي إلى آخر حيث تبلغ هذه التغطية في الأقمار الفرنسية سبوتSPOT 3600 كم^2، وأما في أقمار لاندسات Landsat الأمريكية فتتراوح هذه التغطية بين 30000كم^2 إلى 34000كم^2، بينما تراوحت المساحة التي تغطيها الصور التي التقطت بوساطة آلات تصوير محمولة على متن المحطة الفضائية مير بين (5000 – 90000كم^2) وذلك حسب الآلة المستخدمة في التصوير، واستناداً إلى ذلك يمكن مراقبة مساحات كبيرة ودراستها في الوقت والظروف نفسها.

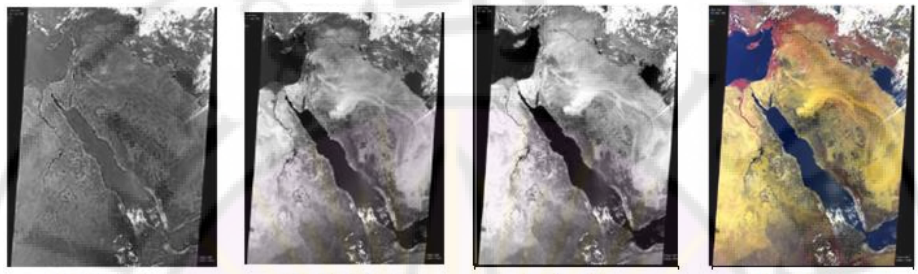
2- دقة تمييز مكانية (Spatial Resolution)

يُقصد بها: أصغر ظاهرة يمكن للمشعر (Sensor) تمييزها وتسجيلها. وتدعى أصغر مساحة يمكن تسجيلها من قبل المشعر بعنصر الصورة Pixel. و كلما كانت قدرة التمييز المكانية أكبر كانت إمكانية تمييز المظاهر على الصور أفضل. وتختلف هذه القدرة من مشعر إلى آخر؛ على سبيل المثال في الماسح متعدد الأطياف MSS (Multi Spectral Scanner) (80× 80م) وفي الماسح الغرضي TM (Thematic Mapper) تبلغ (30×30م) عدا المجال تحت الأحمر البعيد (الحراري) حيث تصل إلى (120م×120م) في القمر لاندسات-5 مثلاً بينما في لاندسات-7 تصل إلى (60×60م)، كما تبلغ على الماسح ذي قدرة التمييز العالية المحمول على القمر سبوت High Resolution Visible (H RV.1) (20×20م) للمجالات (1،2،3) و (10×10م) للمجال البنكروماتي. وفي القمر الصناعي إيكونوس Ikonos تصل إلى 1 متر، أما بالنسبة لآلات التصوير الروسية الصنع فهي تتراوح بين (5-20م).

3- دقة تمييز طيفية:

تُجهّز الأقمار الصناعية بعدسات مختلفة تمكنها من التقاط صور عديدة ضمن مجالات طيفية مختلفة في لحظة واحدة وللمنطقة نفسها (انظر **الشكل 5**). أهم هذه المجالات: مجال الأشعة المرئية وتحت الحمراء والأشعة الميكروية بحيث تُسجل الإشعاعات المنعكسة عن سطح الظاهرة المصورة أو المنبعثة منها بشكل شدات لونية من مستوى الرمادي، مما يجعل تمييز المظاهر المصورة ممكناً نتيجة لاختلاف الاستجابات الطيفية (Spectral Responses) لهذه المظاهر حيث يبدي كل مظهر استجابة طيفية واضحة تختلف حسب نوع الأشعة الساقطة وطبيعة الظاهرة وخصائصها. أما قياس الاستجابة الطيفية فيتم بوساطة المشعرات المحمولة على متن الأقمار الصناعية أو الوسائل الأخرى. فالأقمار الصناعية الأمريكية مجهزة بمواسح متعددة الأطياف MSS تقوم بالتقاط الصور ضمن أربع أقنية طيفية، والماسح الغرضي TM يقوم بالتقاط الصور ضمن ستة مجالات

طيفية، إضافة إلى المجال الحراري، وهناك أقمار تحمل أجهزة تصوير رادارية. تمكن هذه الميزة من دراسة المنطقة المصورة من جوانبها جميعها وبمختلف الأوضاع وهذا يتيح لنا الحصول على معلومات أكثر عن سطح الأرض ناهيك عن أن التصوير الحراري يساعدنا في معرفة برودة المظاهر المصورة وحرارتها.



شكل (5): مثال عن صور مأخوذة بمجالات طيفية عدة للمنطقة نفسها من الوطن لعربي

4- رؤية تكرارية:

من المعروف أن للأقمار الصناعية مسارات ثابتة ودائمة تحافظ عليها بشكل دقيق حيث يمكن أن تقدم صوراً متكررة لمنطقة واحدة خلال فترات زمنية مختلفة أو دورية، وتختلف هذه التكرارية حسب القمر الصناعي. حيث نجد أنها في القمر الصناعي الأمريكي لاندسات-5 (16 يوماً) وفي القمر الصناعي الفرنسي سبوت (26 يوماً) وصورة كل أربعة أيام بالتصوير المائل أما القمر الصناعي الهندي IRS فيقدم صورة كل 22 يوماً. أما الأقمار المخصصة للدراسات الميترولوجية قد تصل تكراريتها إلى صورة كل نصف ساعة.

للتكرارية الزمنية أهمية خاصة لأنها تعطي معلومات دقيقة عن التغيرات التي تطرأ على منطقة معينة خلال فترة من الزمن تتراوح بين عدة أيام وعشرات السنين، ويمكن تقسيم الصور الملتقطة حسب التكرارية الزمنية إلى ما يلي:

أ- صور كثيرة التكرار. (صورة وتلتقط كل نصف ساعة أو كل ساعة أو صورة كل يوم أو كل عدة أيام). يتم التقاطها للمظاهر سريعة التغير، كالكوارث الطبيعية أو المظاهر المناخية (الميترولوجية).

ب- صور تتكرر خلال فترات قصيرة (أسبوع أو عدة أسابيع) وتستخدم في رصد المظاهر التي تتغير بشكل أقل من المظاهر السابقة، على سبيل المثال تطور الغطاء النباتي ومراقبة نموه في المراحل المختلفة.

ت- صور قليلة التكرار: من شهر أو لمدة أشهر أو فترات طويلة، تستخدم لرصد استعمالات الأراضي ودراسة الأحواض المائية والمظاهر شبه الثابتة أو التي تتغير بشكل قليل فستخدم لرصدها صور قليلة التكرار.

5- تسجيل رقمي للبيانات:

إنّ طريقة تحويل البيانات بدءاً من مرحلة تسجيل الأشعة الكهرومغناطيسية بوساطة المشعرات المختلفة إلى مرحلة الحصول على الصور تتم بتسجيل رقمي لهذه البيانات (الفضائية و حديثاً الجوية). وإنّ هذه الصيغة الرقمية لبيانات الاستشعار عن بعد تساعد في سهولة تخزينها ومعالجتها وتحليلها ضمن برمجيات حاسوبية متخصصة، وتمتاز أيضاً بمرونة تداولها بين مختلف التطبيقات الآلية الحديثة.

6- السرعة في الحصول على المعلومات:

تتميز وسائل الاستشعار عن بعد بتقديم معلومات سريعة جداً لأن مسح أية منطقة بالطرق التقليدية يحتاج إلى شهور وسنين بينما يتم الحصول على صورة بوساطة الأقمار الصناعية الأمريكية خلال 25 ثانية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني

أسس الاستشعار عن بعد

Foundations of Remote Sensing

1.2– مقدمة

2.2 – مصدر الطاقة

3.2 – الممر الإشعاعي

4.2 – الظاهرة أو الهدف

5.2 – جهاز الاستشعار أو المشعر

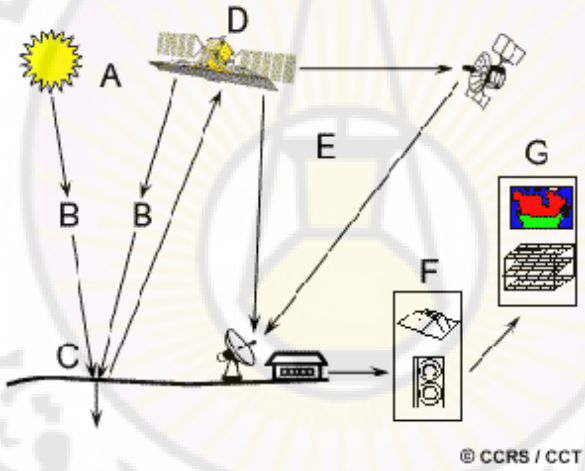
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني: أسس الاستشعار عن بعد

1.2 – مقدمة :

بما أن الاستشعار عن بعد هو مراقبة ظاهرة ودراستها بوساطة أجهزة تحمل مشعرات خاصة دون التماس الفيزيائي معها مباشرة فلابد من توفر عناصر معينة كي تتم عملية الاستشعار يمكن إيجازها بأسس عدة (انظر **الشكل 6**) سنتناول بالتفصيل العناصر الأربعة الأولى منها.



شكل (6): أسس عملية الاستشعار عن بعد: A مصدر الطاقة، B الممر الإشعاعي، C الظاهرة، D المشعرات، E المحطات الأرضية، F تفسير الصور، G التطبيقات

2.2 – مصدر الطاقة (Energy Source):

تتحسس أجهزة الاستشعار عن بعد الطاقة الإشعاعية وتقوم بتسجيلها وتُرسل هذه الطاقة المنبعثة أو المنعكسة عن مظاهر سطح الأرض إلى أجهزة الاستشعار على شكل موجات. وتُدرس مظاهر سطح الأرض بوساطة أجهزة الاستشعار التي تعتمد على التقاط الطاقة الإشعاعية التي تدعى الإشعاع الكهرومغناطيسي Radiation

Electromagnetic (EMR) ومصدره الأساسي الشمس. والإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الشمس لا يصل إلى أعماق المحيطات بل يصل إلى المناطق الضحلة، لذلك فإن عمليات الاستشعار عن بعد لا تشمل سوى هذه المناطق أما الأعماق فتُدرس بوسائل أخرى هي السونار سندرسها لاحقاً.

1.2.2– أنواع مصدر الطاقة :

إنّ مصدر الإشعاع الكهرومغناطيسي إما أن يكون طبيعياً ناتجاً عن الطيف الكهرومغناطيسي الذي يأتي من الشمس ويتألف من مجموعة كبيرة من الموجات المختلفة في أطوالها. أو قد يكون من صنع الإنسان كالأشعة الميكروية التي يستخدمها الرادار والأجهزة الميكروية الأخرى.

2.2.2– الأشعة الكهرومغناطيسية:

يقصد بها الموجات الإشعاعية التي تنتقل بشكل منظم وتسير بسرعة الضوء جميعها ويمكن وصف هذه الموجات استناداً إلى طول الموجة أو ترددها أو سرعتها.

- **طول الموجة Wavelength** هو المسافة التي تفصل بين ذروتين متتاليتين وتقاس بالميكرومتر. ويرمز له (λ)[1]

- **تردد الموجة: Wave frequency**: هو عدد الذروات التي تمر في نقطة ما من الفراغ خلال زمن محدد وتقاس بالهيرتز Hertz. يرمز له (ν)

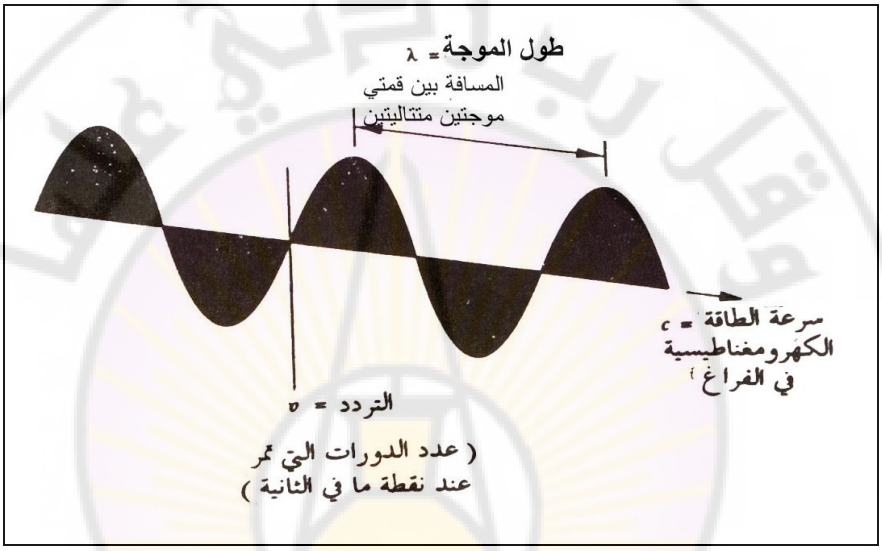
- **سرعة الموجة Wave velocity** : الموجات كلها تنتقل بسرعة الضوء وهي $(3 \times 10)^8$ م /ثا ويرمز له (c) (**انظر الشكل 7**).

---

[1] **توجد ثلاث وحدات تُستخدم لقياس أطوال الموجات هي:**
نانومتر ويعادل 1×10^{-9} متر و الميكرومتر هو واحدة طول تعادل 10^{-6} متر، والمليمتر ويعادل 10^{-3} متر لكن أكثر الوحدات استخداماً في قياس طول الموجة هو الميكرومتر.

ويُحسب طول الموجة عن طريق المعادلة الآتية: $\lambda = \frac{c}{\nu}$

ولما كانت سرعة الموجة تساوي سرعة الضوء وهي ثابتة ومن ثَمّ فإن تردد الموجة يتناسب عكساً مع طولها.

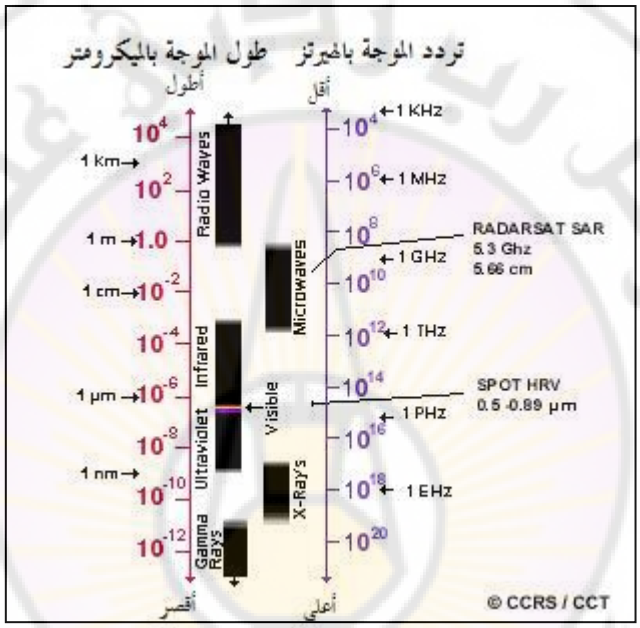


شكل (7): الموجة الكهرومغناطيسية

وبما أن الطاقة الكهرومغناطيسية تنتقل بطريقة مشابهة لطريقة انتقال الموجات إلا أنها تتشكل من حزم صغيرة تدعى الفوتونات (Photons) وإن الطاقة الموجودة في جزيء الفوتون تتناسب مع ترددها، ومن ثَمّ فإنها تتناسب عكساً مع طول الموجة. وبما أن مجال طول الموجات الكهرومغناطيسية كبير فقد قُسّمت إلى نطاقات طاقة (Regions) متشابهة نوعاً ما تبدأ من أشعة غاما القصيرة الموجة والعالية الطاقة حتى موجات طويلة وطاقتها منخفضة وهي موجات الراديو، وبينهما توجد أنواع مختلفة من الأشعة هي الأشعة السينية وفوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء وكل منها ينقسم بدوره إلى نطاقات أصغر. (**انظر الشكل 8**).

أ- **أشعة غاما Gama Rays** :

هـي أشـعة متناهيـة في الصـغر تـتراوح أطوالهـا مـن 0,3 أنغسـتروم إلى 0,003 أنغستروم.



شكل (8): أنواع الموجات الكهرومغناطيسية وأطوالها

ب- **أشعة X Rays** :

أشعة ذات موجات أطوالها قصيرة تقع بين 0,3 و30 أنغستروم وتدعى أشعة روتنجن Rontgen.

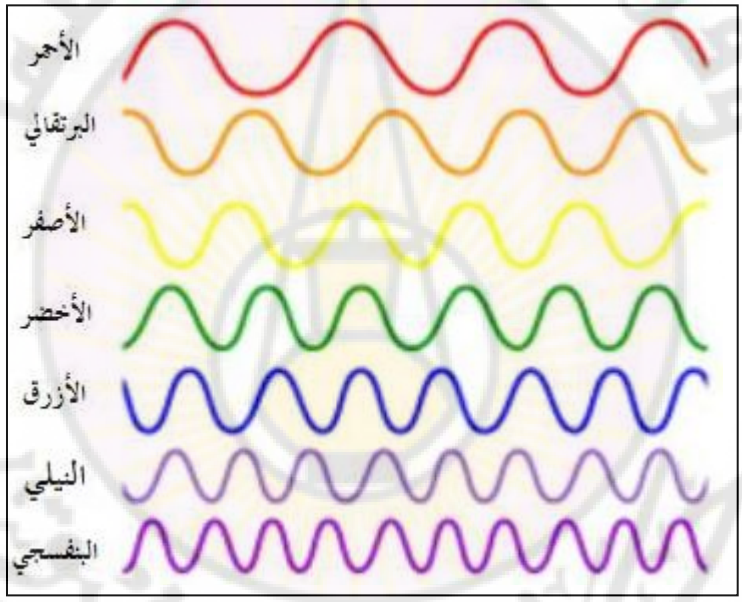
ت- **الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Rays**:

هي الأشعة التي تقع على الطيف المرئي وتتراوح أطوال موجاتها من 0,3 إلى 0,4 ميكرومتر وتوجد في طيف الأشعة الشمسية حيث يسير قسم منها مع أشعة الشمس ولكنها تضيع في طبقات الجو العليا. وهي تظهر في الجو بسهولة

لأنها تصطدم بجزيئات الغلاف الجوي وتعطي السماء لونها الأزرق الذي يظهر في السماء الصافية الخالية من الغيوم.

ث- الأشعة المرئية Visible rays

إن الإشعاع الذي تراه العين البشرية هو الإشعاع الذي تقع موجاته بين 0,4 و0,7 ميكرومتر ويشمل هذا المجال مختلف ألوان الطيف المرئي التي تستطيع العين البشرية رؤيتها بدءاً من اللون الأحمر حتى اللون البنفسجي (انظر **الشكل 9**).



شكل (9): اختلاف أطوال موجات الألوان في المجال المرئي

ج- **الأشعة تحت الحمراء Infrared rays (I R)** :

يطلق هذا التعبير على الأشعة التي تتراوح أطوال موجاتها بين 0,7 – 15ميكرومتر ومن ميزاتها أنها تستطيع اختراق الضباب والغيوم وتقسم بدورها إلى ثلاثة أقسام هي:

1- الأشعة تحت الحمراء القريبة Near-Infrared وأطوالها 0,7-1,3 ميكرومتر.

2- الأشعة تحت الحمراء المتوسطة Mid- Infrared وأطوالها 1,3- 3 ميكرومتر.

3- الأشعة تحت الحمراء البعيدة أو الحرارية Far-Infrared أو Thermal Infrared تُتحسس هذه الأشعة عن طريق وسائل الاستشعار العادية، ولكن يجب أن يكون الفيلم حساساً لهذا النوع من الأشعة. وتقع هذه الأشعة ضمن الأطوال الموجية من (3-5 ميكرومتر) ومن (8-14 ميكرومتر)

ح- **الأشعة الميكروية Microwave**:

هي أشعة أطوال موجاتها من 1ملم حتى 1متر. وتستخدم في أجهزة الاستشعار الفعالة (الرادار).

خ- **الأشعة الراديوية Radio wave** :

طول موجات الأشعة الراديوية يقع بين 1م و1كم.

إن وسائل الاستشعار عن بعد لا تستخدم مجالات الطاقة كلها وإنما جزءاً من الطيف الكهرومغناطيسي فقط، يبدأ من مجال الأشعة فوق البنفسجية مروراً بالأشعة المرئية ثم الأشعة تحت الحمراء القريبة فالمتوسطة فالبعيدة بالإضافة إلى الأشعة الراديوية. كما أن المجال المرئي له أهمية خاصة ومميزة ليس لرؤية الإنسان فقط وإنما لأنه مجال جيد وأساسي للاستشعار.

كما تسجل وسائل الاستشعار عن بعد طاقة لإشعاع (الفوتون) ضمن نطاق أو نطاقات خاصة بالمشعر (Sensor) الذي يقوم بجمع الإشعاع الكهرومغناطيسي وتسجيلها. وتعتمد كمية الطاقة المسجلة على طاقة الفوتونات الأصلية ضمن النطاق وعلى عدد الفوتونات التي تصل إلى الجهاز الحساس (المشعر) خلال الفترة الزمنية القصيرة لجمع الطاقة، ويختلف عدد الفوتونات (شدة الإشعاع) التي تصل إلى المشعر باختلاف

كمية الطاقة الصادرة عن مصدر الإشعاع وكمية الطاقة الممتصة من قبل الغلاف الجوي، وكمية الطاقة المنعكسة في المظاهر الأرضية.

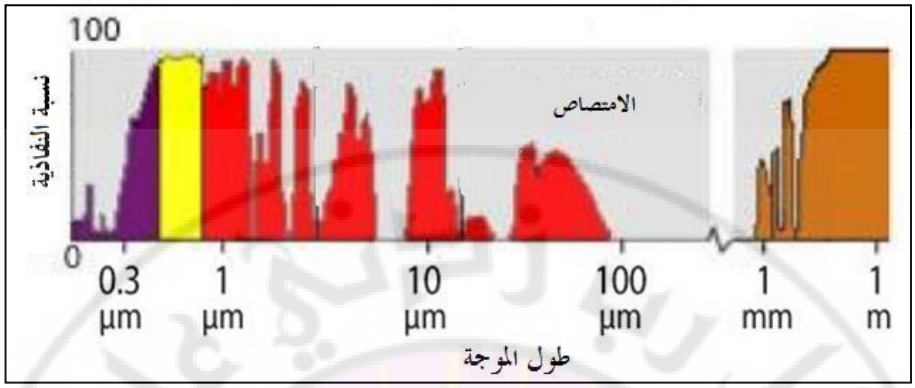
3.2- الممر الإشعاعي (Radiation path)

من المعلوم أن الشمس تصدر إشعاعاً يتبعثر قسم منه في الجو بوساطة الجزيئات الموجودة في الغلاف الجوي وقسم منه يتم امتصاصه في الغلاف الجوي. ويتم هذا الامتصاص بشكل رئيسي بوساطة بخار الماء والأوكسجين وثاني أكسيد الكربون، والأوزون، والكبريت وغيرها. أما الجزء الآخر فيصل إلى الأرض من خلال ممرات إشعاعية أو ما يسمى النوافذ الجوية التي تسمح بمرور جزء من موجات الطيف الكهرومغناطيسي من خلال الغلاف الجوي دون أن تكون معرضة للتبعثر أو الامتصاص.

1.3.2 – النوافذ الجوية:

تبدو في **الشكل (10)** المجالات الطيفية التي تكون نسبة نفاذيتها عالية في الغلاف الجوي والتي يمكن الحصول على المعلومات بالاستشعار عن بعد من خلالها. أهم هذه النوافذ:

- ممر يقع في مجال الأشعة المرئية وتحت الحمراء يتراوح طولها بين 0.4 – 1.1 ميكرومتر.
- ممر يقع في مجال الأشعة الحمراء الحرارية طولها يتراوح بين 3- 5 ميكرومتر .
- ممر يقع في مجال الأشعة الحمراء الحرارية طولها يتراوح بين 8-14 ميكرومتر.



شكل (10): النوافذ الجوية

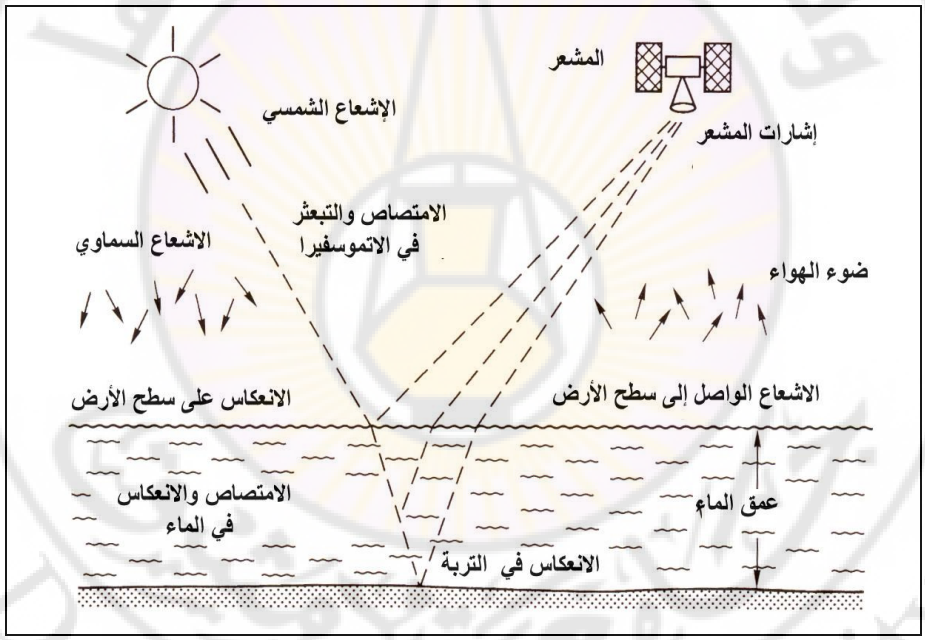
2.3.2 – تفاعل الطاقة مع الغلاف الجوي :

إنّ الأشعة التي ترسلها الشمس تسير مسافة معينة في الغلاف الجوي، وتجتاز طبقات منه وفي أثناء عبورها لهذه الطبقات تتعرض لعمليات عدة هي : الامتصاص و الانعكاس و التبعثر .(**انظر الشكل 11**).

1) الامتصاص (Absorption): إن عملية الامتصاص تقلل من نسبة الأشعة المرسلة إلى الأرض وذلك لأن قسماً من الطاقة يضيع في الغلاف الجوي ويُمتص من خلال بخار الماء وثاني أوكسيد الكربون والأوزون بالإضافة إلى الجزيئات الأخرى الموجودة في الجو. وهناك مناطق في الغلاف الجوي تكون فيها عملية الامتصاص منخفضة وأخرى يكون امتصاصها أعلى.

2) الانعكاس (Reflection): ينعكس جزء من الأشعة الشمسية عند مرورها وسط الغلاف الجوي بعد اصطدامها بالجزئيات الموجودة فيه عائدة إلى الفضاء أي بالاتجاه القادمة منه نفسه أو يّسجل قسم كبير منها بوساطة المشعرات المحملة على الأقمار الصناعية. وأغلب هذا الانعكاس يحدث عند وجود طبقات من الغيوم التي تحوي جزئيات الماء السائلة أو المتجمدة.

3) التبعثر (Scattering): يعني تشتت الطاقة في مختلف الاتجاهات، أي أن عملية التبعثر هي نشر للإشعاع الكهرومغناطيسي عشوائياً في الغلاف الجوي بوساطة مواد موجودة في الجو، حيث ينتشر على شكل جزيئات عند تفاعل هذه الطاقة مع الجزيئات الأصغر قطراً من أطوال الموجات المتفاعلة يحدث ما يسمى تبعثر رايلي Raylight scattering الذي يتناسب عكساً مع الأس الرابع لطول الموجة لذلك فإن قابلية تبعثر الموجات القصيرة تكون أكثر من قابلية تبعثر الموجات الطويلة[2].



شكل (11): تفاعلات الطاقة مع الغلاف الجوي وبعض مظاهر الأرض (عن 2001 Albertz)

[2] Lillesand,R, & W, T Kiefier: Reomte Sensing and Image Interoretion, John – 1987Wiley&Sons.INC.

ترجمة خاروف، وفؤاد العجل، المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، دمشق، 1994.

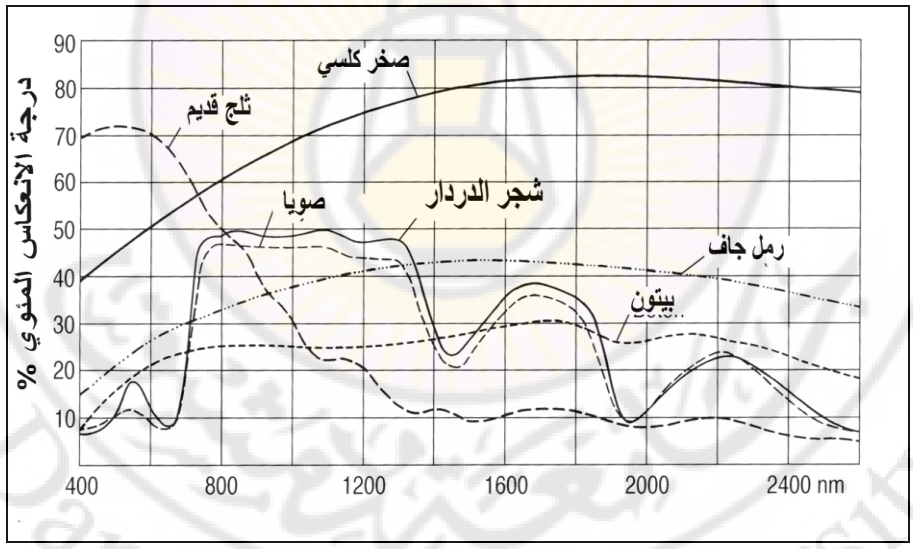
نتيجة تبعثر هذه الموجات تبدو زرقة السماء ولولا هذا التبعثر لأصبحت السماء داكنة (سوداء)، وثمّ تصبح الشمس أكثر إضاءة (سطوعاً) وزاوية سقوط الأشعة الشمسية أكثر حدة. لأنه عند تفاعل أشعة الشمس مع الغلاف الجوي الأرضي فإن هذا الغلاف تكون بعثرته للموجات الزرقاء الأقصر أكثر من الموجات الأخرى في الطيف المرئي. لذلك نرى زرقة السماء، بالمقابل فإن الأشعة الشمسية صباحاً ومساءً تجتاز مسافة أطول من ثمّ تكون عملية تبعثر الموجات القصيرة وامتصاصها كاملة ومن ثمّ لا تظهر إلا الموجات البرتقالية والحمراء الأقل تبعثراً والأطول وهذا ما يعطي السماء اللون الأحمر، أو البرتقالي عند الشفق والغروب. إن تبعثر رايلي هو المسؤول عن قلة وضوح الصورة (المرئية)، وقلة تباينها (Contrast) ويؤدي ذلك عند استخدام التصوير الملون إلى ميل الصور للون الرمادي المزرق خاصة عند التصوير من ارتفاعات شاهقة.

تبعثر مي Mie Scattering : يحدث هذا التبعثر إذا وضعنا في الحسبان أن أقطار الجزيئات أكبر من أطوال الموجات التي تتم عندها عملية الاستشعار وهذا النوع من التبعثر ينتج الضباب الأبيض (White haze) والضباب البني (Brown haze)، وفي بعض الأحيان يظهر اللون الأحمر في الجو ذلك عندما يكون الجو محملاً بالغبار أو الدخان ويلاحظ هذا التبعثر عند الغروب.

تتعلق كمية التبعثر بارتفاع الشمس الذي يؤدي دوراً مهماً وهذا الدور يرتبط بخصائص الموقع الجغرافي، الزمن (السنة واليوم)، وعندما تكون زاوية ارتفاع الشمس أعلى يكون التبعثر أكبر.

4.2 – الظاهرة أو الهدف (Target):

المقصود بالهدف المظاهر على سطح الأرض التي تقع ضمن مجال الرؤية للمشعر كلها، ويتم التعرف على الظاهرة (الهدف) من خلال معرفة نوعية الأشعة المنعكسة والممتصة حيث إنّ أي هدف يعكس ويمتص وينفذ الأشعة، ولكن كمية هذه الأشعة تختلف حسب نوعية الظاهرة وطول موجتها وخصائصها الطبيعية. ولكل ظاهرة سلوك خاص بها من حيث التفاعل مع الأشعة الشمسية واختلاف كميتها، يطلق على هذا السلوك اسم **البصمة الطيفية** (الاستجابة الطيفية). قد يكون الهدف أو الظاهرة المراد تصويرها منطقة مغطاة بالغطاء النباتي الطبيعي على سبيل المثال الغابات، أو دراسة المسطحات المائية ومراقبة التلوث فيها أو غير ذلك من المظاهر. (**انظر الشكل 12**).



شكل (12): درجة الانعكاس لبعض االأرض:الأرضية

1.4.2 – تفاعل الطاقة مع مظاهر سطح الأرض:

إن انعكاس الطاقة عن مظاهر سطح الأرض يُعدّ عامل التفاعل الرئيس للجزيئات على السطح من الطاقة الواردة. ولخصائص الأشعة المنعكسة من مظاهر سطح الأرض

أهمية كبيرة في الحصول على بيانات الاستشعار عن بعد وذلك لأن الكثير من أجهزة الاستشعار يعمل في نطاق الموجات التي تسيطر عليها الطاقة المنعكسة.

يمكن استنتاج الأشعة المنعكسة التي تُسمى (Reflected energy RE) من العلاقة الآتية: $RE = IR - (AE + TE)$ (**انظر الشكل 13**).

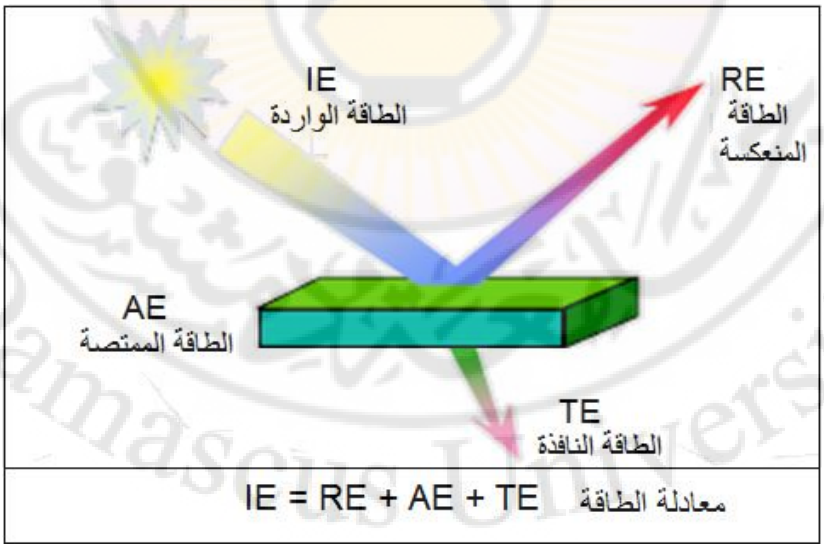
حيث: RE الأشعة المنعكسة (Reflected Energy)

I E الأشعة الواردة (Incident Energy)

AE الأشعة الممتصة (Absorbed Energy)

TE الأشعة النافذة (Transmitted Energy)

أي أن الطاقة المنعكسة تساوي الطاقة الواردة إلى مظهر من مظاهر سطح الأرض مطروحاً منها الطاقة الممتصة، والطاقة النافذة علماً أن كل مكوّن من مكونات الطاقة يتعلق بطول الموجة، وبخصائص سطح الظاهرة، وتركيبها، ويمكن حساب قدرة انعكاس الظاهرة بقياس الجزء المنعكس من الطاقة الواردة.



شكل (13): تفاعل الطاقة الكهرومغناطيسية مع سطح الأرض

إنّ المظاهر الموجودة في الطبيعة تختلف كثيراً في خصائصها الانعكاسية ضمن طول الموجة الواحدة وباختلاف أطوال الموجات في المجالات الطيفية الأخرى. كما أن كمية الطاقة الممتصة والمنعكسة والنافذة تتعلق بعوامل عدة هي:

- طول الموجة
- زاوية ورود الأشعة الشمسية
- الخصائص الفيزيائية للظاهرة.
- الخصائص الكيميائية للظاهرة.
- الشكل الهندسي للظاهرة أي بنية السطح (نعومة أو خشونة) لأن السطوح الملساء تعكس كمية أكبر من الطاقة أما السطوح الخشنة فتقوم بنشر الطاقة في مختلف الاتجاهات، ومن ثمّ تكون الطاقة المنعكسة أقل.

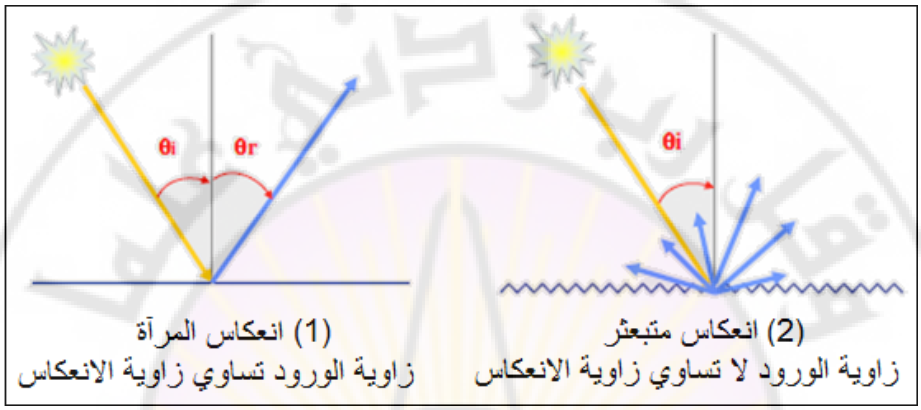
هناك علاقة بين طول الموجة وخشونة السطح. حيث نجد عند استخدام الموجات الطويلة الراديوية أن الأرض الصخرية تبدو ملساء بالنسبة للأشعة الواردة في حين تظهر المساحات المغطاة بالرمل الناعم خشنة إذا استُخدم الطيف المرئي في عملية الاستشعار، أي إن السطح يقوم بنشر الطاقة عندما يكون طول الموجة المستخدم للأشعة الواردة أقل من تغير ارتفاع السطح أو عندما يكون حجم المواد التي يتكون منها السطح أكبر من طول الموجة (**انظر الشكل 14**).

وإذا أردنا حساب ما يسمى الانعكاسية الطيفية لمظاهر سطح الأرض فيمكن ذلك من خلال قياس الجزء المنعكس من الطاقة الواردة وذلك بدلالة طول الموجة من خلال المعادلة الآتية :

$$P\lambda = \frac{ER}{EI}(\lambda)$$

حيث إن $p\lambda$ هي درجة الانعكاسية الطيفية المئوية للظاهرة. وتتعلق هذه الدرجة بطول الموجة.

وتزخر المراجع بأشكال تبين منحنيات الانعكاس الطيفي Spectral reflectance curve (**انظر الأشكال 15و16**) التي تبين درجة منحنيات الانعكاسية الطيفية لبعض مظاهر سطح الأرض في المجالات الطيفية المختلفة.



شكل (14): اختلاف الانعكاس على سطح الأرض حسب طبيعة السطح

(1) الانعكاس على سطوح ملساء يسمى انعكاس المرآة عند سقوط الأشعة بشكل مائل حيث تكون زاوية الورود تساوي زاوية الانعكاس (2) الانعكاس على السطوح الخشنة يسمى الانعكاس المتبعثر حيث تنعكس الأشعة في الاتجاهات كلها

2.4.2 – أمثلة عن الانعكاسية الطيفية لبعض مظاهر سطح الأرض

مثال 1 : الانعكاس الطيفي للمياه

تُعدّ الانعكاسية الطيفية لمظاهر المياه معقدة نوعاً ما وذلك لأن الأشعة الساقطة (الواردة) على جهاز الاستشعار تتعلق بحالة الجسم المائي من خلال عمق المياه، ودرجة نقاء الماء الذي يجعل الأشعة تنفذ في الجسم المائي. وباختلاف تأثير هذه العوامل تختلف بيانات الاستشعار عن بعد الخاصة بدراسة المياه، فالمياه الصافية تمتص كمية أقل من الطاقة في الموجات التي يقل طولها عن 0,45 ميكرومتر (المجال المرئي). أي إن الانعكاس يبلغ أشده عند طول هذه الموجة حيث تتميز هذه الموجات بنفاذية عالية يصل أعلاها في الطيف الأزرق والأخضر، إلا أنّ احتواء الماء على المواد التي تزيد العكر فيه يؤثر في هذه النفاذية ومن ثمّ الانعكاسية حيث إنّ المياه العكرة لها قدرة انعكاسية أكبر من المياه

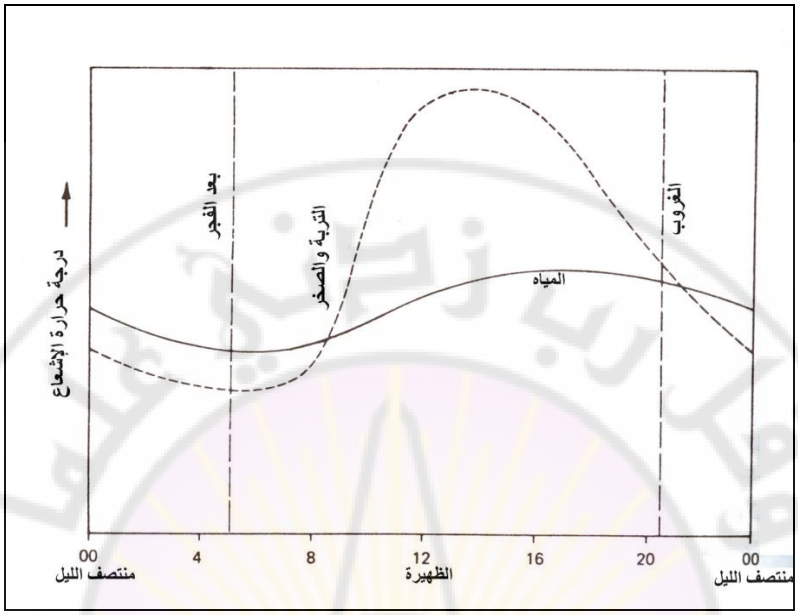
الصافية. في الكثير من الدراسات لا تكفي الانعكاسية الطيفية لمعرفة درجة الانعكاسية من سطح الظاهرة.

مثال 2 : الانعكاس الطيفي للنبات

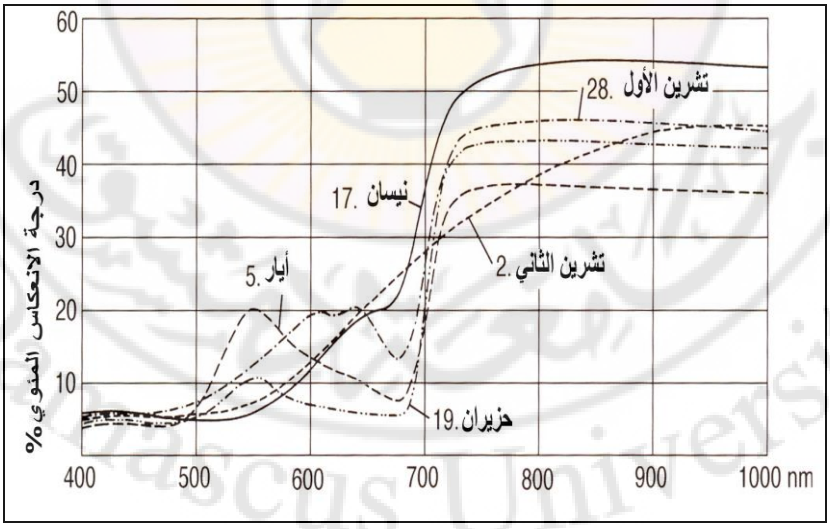
تُظهر انعكاسية النبات تنوعاً طيفياً يختلف حسب النوع النباتي وخصائصه الشكلية (المورفولوجية) خلال فترات نموه، والمخزون المائي فيها، وحسب طول الموجة المستخدم أيضاً. كما ترتبط الانعكاسية الطيفية للنبات بنموذج الأوراق وهندسة بنيتها والحالة الصحية للنبات. وإنّ اختلاف هذه العوامل يؤثر في البيانات المسجلة من أجهزة الاستشعار من حيث كمية الأشعة المنعكسة. فالنبات يعكس كمية قليلة نسبياً من الأشعة في المجال المرئي، بينما يُسجل انعكاساً قوياً في المجال تحت الأحمر القريب. ويزداد الانعكاس في حالة إصابة النبات بالأمراض، الأمر الذي يؤثر في فقدان مادة الكلوروفيل فيه ومن ثمّ زيادة كمية الأشعة المنعكسة منه.

مثال 3 : الانعكاس الطيفي للترب

يزداد انعكاس التربة مع ازدياد طول الموجة حيث تعكس الترب كميات كبيرة من الأشعة في المجال تحت الأحمر القريب، وكمية أقل منها في الطيف الأزرق من المجال المرئي ثم يستقر الانعكاس بعد ذلك. كما تتأثر الانعكاسية الطيفية للترب بعوامل أخرى أهمها تتعلق بنوع التربة وقوامها وبالمادة العضوية التي تحتويها وبنسبة الرطوبة الموجودة فيها، حيث تبدو الترب ذات القوام الناعم أشد انعكاساً من الترب الأكثر خشونة. ويقل انعكاس الترب كلما زادت كمية المادة العضوية فيها وكلما كانت نسبة الماء المحتواة فيها عالية.



شكل (15): انعكاس كل من التربة والصخر والماء خلال 24 ساعة في المجال المرئي



شكل (16): تغير درجة الانعكاس من أوراق البلوط خلال فترة النمو في المجال المرئي وتحت الأحمر القريب (عن Gatz 1970)

5.2- جهاز الاستشعار أو المشعر (Sensor)

هو مجموعة من الأجهزة تتألف من آلات تصوير تحمل عدسات مختلفة، ووسائل لتحويل الإشارات ووحدة تسجيل على الأشرطة، وأجهزة ترقيم وغيرها، إضافة إلى شاشة عرض تلفزيونية. يتم وضع هذه المشعرات على متن وسائل مختلفة (منصات أرضية، وطائرات، وبالونات، وحوامات، وصواريخ، وأقمار صناعية، ومركبات فضائية، ومكونات فضائية).

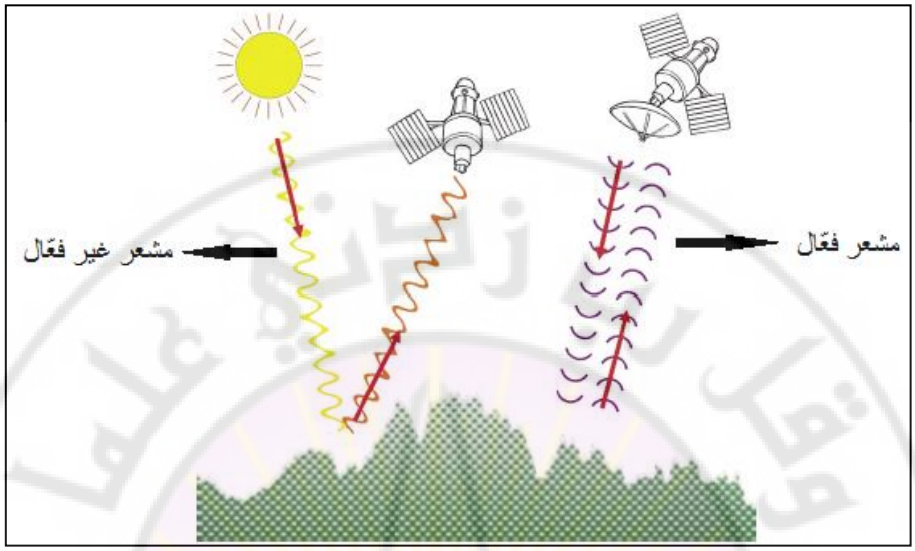
يعمل المشعر بنقل اختلاف شدة السطوع (Bright variation) حسب اختلاف محتوى الظاهرة، حيث تقوم آلات التصوير بتسجيل كمية الأشعة المنعكسة من الظاهرة على شكل إشارات إلكترونية ثم تمريرها على كواشف تقوم بدورها بتوزيع الأشعة وتسجيلها وبثها إلى محطات الاستقبال الأرضية.

1.5.2 – أنواع المشعرات

تُقسم المشعرات حسب مصدر الطاقة إلى نوعين (**انظر الشكل 17**):

أ- مشعرات ذات أنظمة فعالة (Active System) : هي أجهزة تطلق إشعاعات وتستقبلها بعد أن تصطدم بالظاهرة التي تقوم بدراستها وهي تعتمد على مصدر داخلي للطاقة مثل أجهزة الرادار.

ب- مشعرات ذات أنظمة غير فعالة (Passive System) : هي الأجهزة التي لا تصدر الطاقة وإنما تعتمد على مصدر طاقة خارجي (الطاقة الشمسية) في رصد الظواهر المختلفة. من مثل آلات التصوير المواسح المحمولة على متن الأقمار الصناعية أو الطائرات.



شكل (17): أنواع المشعرات حسب مصدر الطاقة

Damascus University

الفصل الثالث

التصوير الجوي

Aerial photography

1.3– مقدمة

2.3 – خصائص التصوير الجوي

3.3– أفلام التصوير الجوي (الفوتوغرافية)

4.3– آلات التصوير الجوي

5.3 – أنواع الصور الجوية

6.3– المساحة التصويرية (الفوتوغرامتري)

7.3– التقاط الصور العمودية

8.3 – حساب مقياس الصورة الجوية العمودية

9.3– تغطية الأرض بالصور الجوية والتخطيط لعملية الطيران

10.3– التشويه الناتج في الصور الجوية

11.3– الرؤية المجسمة

12.3– الأجهزة الأساسية المستخدمة في تفسير الصورة الجوية

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الثالث: التصوير الجوي

1.3- مقدمة

يُعدّ التصوير الجوي من أقدم أجهزة الاستشعار عن بعد وأكثرها استخداماً ويختلف نوعاً ما عن التصوير الفضائي إلا أنه يكمله. ويعود التصوير الجوي إلى بداية صناعة الطائرات عام 1903م، لكنه تطور بشكل كبير مع تطور أجهزة التصوير والعدسات الإلكترونية بعد الحرب العالمية الثانية وقدرتها على التصوير في المجال المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي والمجال تحت الأحمر. وتُعدّ هذه الأجهزة مُستشعرات بصرية غير فعالة تستخدم عدسة أو مجموعة عدسات تسمى النظام البصري من أجل تسجيل صورة على المستوى المحرقي لعدسة التصوير باستخدام أفلام فوتوغرافية خاصة. وقد استخدمت وسائل متعددة في التقاط الصور الجوية، حيث استعملت في البدء المناطيد والبالونات ليشمل فيما بعد الطائرات المدنية والعسكرية.

بفضل التطور التقني المتسارع، أصبح بالإمكان الحصول على صور جوية بصيغة رقمية باستخدام آلات تصوير رقمية تسجل الطاقة الكهرومغناطيسية إلكترونيًا (Digital photography). وتختلف هذه الآلات الرقمية عن آلات تصوير الأفلام، حيث يتم استبدال بالفيلم شبكة CCD من أجهزة الشحن المزدوج (Charge coupleg devices). تتفاعل أجهزة CCD بشكل فردي مع الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يصل إليها وتنتج شحنة إلكترونية تتناسب مع شدة الطاقة القادمة من السطح. ثم تُخصّص قيمة عددية مقابلة لكل بكسل في المجالات الطيفية المستخدمة جميعها. يمكن معالجة الصيغة الرقمية لهذه الصور وتخزينها على جهاز الحاسوب أو استخدامها لإنتاج صورة على ورق الصور الفوتوغرافية. تسمح آلات التصوير هذه بتحكم أفضل في الدقة الطيفية وزيادة الكفاءة في أثناء الحصول على

البيانات. تبلغ الدقة المكانية لآلات التصوير الرقمية حوالي 0.3 متر ودقة طيفية تتراوح بين 0.012 ملم إلى 0.3 ملم. يتراوح حجم شبكة CCD عمومًا بين 512 من 512 و 2048 من 2048. وأصبح بالإمكان حالياً استخدام الطائرات من دون طيار أو الطائرات المسيرة (Drones) من أجل الحصول على صور جوية لأغراض علمية بعد أن كانت هذه الطائرات مخصصة للمهمات العسكرية، فقد توسع نطاق استخدامها ليدخل في مجالات تجارية وزراعية وعمرانية ومراقبة الطرق وغيرها من التطبيقات. سنركز في هذا الفصل على التصوير الجوي الذي يستخدم آلات تصوير الأفلام الفوتوغرافية.

2.3- خصائص التصوير الجوي

تتميز الصور الجوية بعدد من الخصائص هي:

1. تظهر الصورة الجوية مظاهر سطح الأرض كما هي عليها في الطبيعة لحظة التصوير.
2. تغطي الصورة الجوية مساحات كبيرة من سطح الأرض في وقت قصير.
3. يُمكن التصوير الجوي من مراقبة المظاهر المتغيرة وذلك من خلال التصوير المتكرر للظاهرة المراد دراسة تغيرها (كتغير الغطاء النباتي).
4. تتميز الصور الجوية بقدرة تمييز عالية للمظاهر، وهذا يتم من خلال اختيار آلات تصوير وأفلام جيدة.
5. يُمكّن التصوير الجوي من رؤية مجال طيفي أوسع من المجال التي تراه العين البشرية وتسجيله (في مجال الأشعة المرئية والذي تتراوح طول موجاته بين 0.4 – 0.7 ميكرومتر) حيث يستخدم الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء .أي يستطيع التسجيل ضمن مجال طيفي طوله من 0.3 إلى 0.9 ميكرومتر.

3.3 - أفلام التصوير الجوي (الفوتوغرافية) (Photographic Films) :

إن التصوير الجوي يتطلب إنتاج آلات ذات نوعية متميزة تظهر حساسية عالية لأن مدة الإضاءة قليلة بسبب حركة الطائرة من ناحية، ومن ناحية أخرى يجب أن تتميز الأفلام بدقة تمييز كبيرة كي تسمح للكثير من تفاصيل مظاهر سطح الأرض بالظهور على الصورة. هذه الشروط وغيرها تتطلب إيجاد حلول لإنتاج الأفلام، كما أن الدقة الهندسية للصور الجوية تعتمد على عوامل عدة منها آلة التصوير وتصميم العدسات ونوع الفيلم المستخدم. تتألف أفلام التصوير الجوي من قاعدة بلاستيكية شفافة يغطى قسم منها بطبقة حساسة من بلورات الفضة القاسية وأملاحها، تتحسس هذه البلورات الطاقة الكهرومغناطيسية. (انظر **الشكل 18** الذي يبين مقطعاً عرضياً في الفيلم).

شكل (18): مقطع عرضي في الفيلم

عندما تتعرض الطبقة الحساسة الموجودة داخل آلة التصوير للفوتونات المنعكسة عن المظاهر الأرضية من خلال عدسة آلة التصوير تتغير خصائصها الكيميائية وتتحول إلى اللون الأسود عند تحميض الفيلم، أما البلورات التي تتعرض لطاقة منخفضة فتبقى على حالتها الطبيعية. تستطيع طبقات التصوير الحساسة تسجيل الأشعة ما بين 0.3 –

2.1 ميكرومتر، أو الأشعة فوق البنفسجية إلى الأشعة ما تحت الحمراء. وهناك أربعة أنواع من المواد الحساسة للأفلام هي بنكروماتي (الأبيض والأسود)، و تحت الأحمر، و الملون العادي، والملون الحساس الأشعة تحت الحمراء.

1.3.3– الأفلام البنكروماتية (Panchromatic Films):

هذه الأفلام حساسة للطاقة بين 0.3-0.7 ميكرومتر أي لألوان الطيف المرئي والأشعة فوق البنفسجية كلها. لكنه يُستخدم غالباً للتصوير بالأبيض والأسود، وعادة يستخدم لامتصاص الموجات القصيرة الناتجة عن وجود الضباب في الجو. يمكن أن يتم التصوير عن طريق اختيار موجة معينة مثل الأخضر، باستخدام مرشح يحجز الأشعة فوق البنفسجية والمرئية كلها ما عدا الأشعة المطلوبة.

ويمكن التصوير باستخدام آلات التصوير ذات مرشحات مختلفة بتوجيهها بشكل متماثل نحو الأرض بحيث يتم تعريض الأفلام البنكروماتية للأشعة في الوقت نفسه، ومن ثمّ نحصل على نوع من التصوير يسمى (متعدد الأطياف). (انظر **الشكل 19**).

شكل (19): آلة تصوير متعددة تحوي أربع عدسات ببعد محرقي 70 ملم تستخدم للتصوير البنكروماتي (عن Thomas .M.Lillesand . K.Kiefer 1987)

كلما زاد عدد الفوتونات المنعكسة عن الظاهرة الساقطة على الفيلم كانت درجة القتامة (الرمادي) على الفيلم أكبر، وهذه الصورة السالبة ينتج عنها شدة لونية أفتح عند طبع الصورة، وتختلف درجة لون المنشآت البشرية مثل الطرق والأبنية فتظهر بلون فاتح أو قاتم على الصورة وذلك حسب التركيب السطحي لهذه المنشآت (إسفلت أو إسمنت) كذلك الحال بالنسبة للأراضي الزراعية المحروثة حديثاً فإنها تظهر بلون أكثر قتامة من المناطق المجاورة.

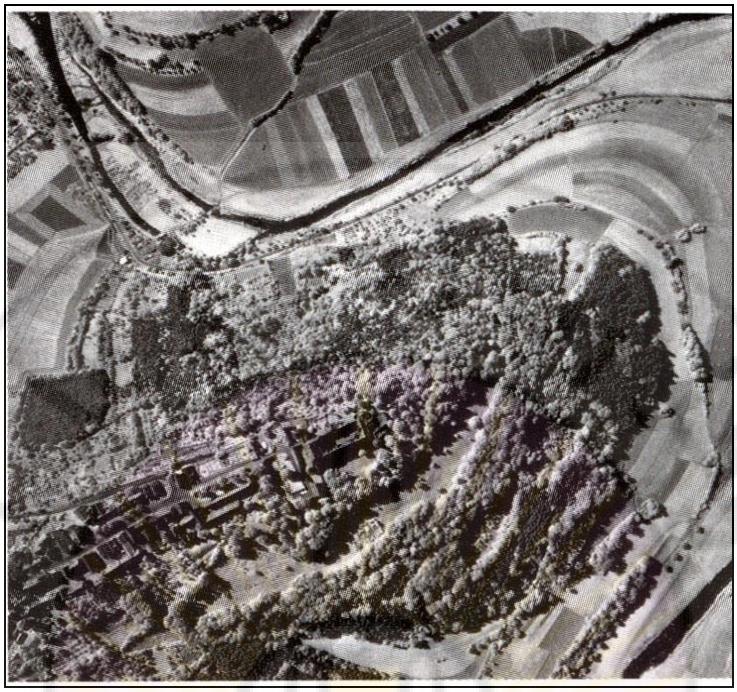
ويمكن أن يظهر الجسم نفسه بلون فاتح أو قاتم حسب زاوية سقوط أشعة الشمس وموقع جهاز الاستشعار عن بعد، وتظهر الأجسام المنعكسة بلون أسود إذا كان سطحها ناعماً بشكل كاف حيث إنّ أشعة الشمس تنعكس عليها بعيداً عن عدسة آلة التصوير، ومن جهة أخرى قد يظهر على الصورة بقعة شمسية بيضاء مستديرة لكنها تدل على بحيرة فاتحة وهذا يعود إلى انعكاس أشعة الشمس من البحيرة إلى العدسة، ونوع الأشعة المستخدمة في التصوير (انظر **الشكل 20**).

شكل (20): صورة بنكروماتية (أبيض أسود) مقياسها 1:15000

2.3.3– الأفلام الحساسة للأشعة تحت الحمراء باللون الأبيض والأسود: (Black and White Infrared films)

هي أفلام شبيهة بالأفلام البنكروماتية لكنها تختلف عنها بحساسيتها الطيفية حيث تمتد لتشمل الأشعة تحت الحمراء القريبة وذلك ضمن المجال (0.3-0.9) ميكرومتر، وهذه الأفلام تستخدم مرشحاً يمتص الأشعة فوق البنفسجية والمرئية كلها ومن ثمّ فإنه لا يسجل سوى الأشعة تحت الحمراء ومجالها (0.7-0.9) ميكرومتر. وبما أن الأشعة قصيرة الموجات تكون شديدة الانتشار فلذلك يتم ترشيحها وتصفيتها. وتُعدّ هذه الأفلام جيدة للتصوير في أثناء الضباب لذلك تستخدم في الأيام التي يكون فيها استخدام الفيلم البنكروماتي غير مجدٍ.

نظراً لما تتميز به هذه الأفلام من تباين لوني كبير فهي تستخدم لحل مشاكل معينة خاصة في عملية إنتاج الخرائط. على سبيل المثال تستخدم على نطاق واسع في رسم الخرائط ومسح الغابات حيث يمكن تمييز الأنواع المختلفة للغطاء الغابي بسبب اختلاف الدرجات اللونية، وبما أن المياه تمتص الأشعة تحت الحمراء أكثر من الأشعة المرئية لذلك يظهر الماء بلون رمادي قاتم أو أسود (مقارنة بالمحيط) الذي يبدو فاتحاً ولهذا يُعدّ التصوير بالأشعة تحت الحمراء مثالياً لرسم حواف الأنهار والبحيرات والمظاهر المائية الأخرى. (انظر **الشكلين 21 و22**).



شكل (21): صورة في مجال الأشعة تحت الحمراء (أبيض وأسود)

شكل (22): صورة جوية لوسط واشنطن بالأشعة تحت الحمراء (أبيض وأسود)

3.3.3 – الأفلام الملونة بالألوان الحقيقية (True color films)

بقيت الأفلام البنكروماتية شائعة في التصوير مدة طويلة، إلا أن الأفلام الملونة دخلت مجال التصوير في الثلاثينيات من القرن الماضي ولكنها بقيت فترة طويلة قليلة الاستخدام نظراً لارتفاع سعرها وانخفاض دقة وضوحها، ولكن استخدامها بدأ في العقود الأخيرة من القرن العشرين نتيجة لانخفاض كلفتها وزيادة سرعتها وجودة الصور المنتجة وحجم المعلومات الضخم الذي تحويه الصورة الملونة.

تتميز هذه الأفلام بقدرة عين الإنسان على تمييز اختلافات الألوان بشكل أكبر. وهي تشبه الأفلام البنكروماتية إلا أنها تتكون من طبقات منفصلة حساسة للأشعة المرئية باللون الأحمر والأخضر والأزرق الموجودة في الفيلم. تقسم هذه الطبقات الطيف المرئي إلى ثلاثة أجزاء كما هو الحال في نظرية الألوان الثلاثية الخاصة بالرؤية البشرية (Trichromatic theory of human vision) لذلك عند طباعة الفيلم نرى صوراً ذات ألوان متعددة .(انظر **الشكل 23**).

شكل (23): مقطع عرضي في فيلم ملون بألوان حقيقية

من المعلوم أن العين تتحسس ثلاثة ألوان هي الأزرق والأخضر والأحمر (وهي الألوان الرئيسة) وإن أي لون آخر تراه العين ما هو إلا مزيج من هذه الألوان. فمثلاً عند مزج اللونين الأحمر والأخضر ينتج اللون الأصفر، أما اللون الفوشي فينتج عند مزج

اللونين الأزرق والأحمر، ويتشكل اللون السماوي من مزج اللونين الأزرق والأخضر، وإذا مزجنا الألوان الثلاثة الرئيسة ينتج اللون الأبيض.

أما التصوير الملون فيعتمد على مبدأ طرح الألوان Subtractive Primaries حيث تستخدم أصبغة من الأصفر والفوشي والسماوي وتدعى ألوان الطرح الأولية، فالصباغ الأصفر يمتص اللون الأزرق من الضوء الأبيض فينفذ اللونين الأخضر والأحمر، ويمتص الصباغ الفوشي اللون الأخضر فينفذ الأزرق والأحمر، أما الصباغ السماوي فيمتص اللون الأحمر فينفذ الأزرق والأخضر. أما بنية الفيلم فتتألف من طبقة في الأعلى تتحسس الضوء الأزرق، والثانية تتحسس الضوء الأخضر، أما الثالثة فتتحسس الضوء الأحمر. ثم توضع طبقة فلتر تمتص اللون الأزرق بين الطبقتين السفليتين. حيث تمنع هذه الطبقة اللون الأزرق من تجاوز حدود الطبقة الحساسة له.

وبما أنه يمكن تمييز آلاف الألوان على هذا النوع من الصور فإنه يمكن التعرف على هذه المظاهر بسهولة ودقة لأننا نرى المظاهر بألوانها الحقيقية والاختلافات ضمن اللون الواحد تبين حالة الظاهرة (على سبيل المثال التعرف على مرحلة نضج المحاصيل الزراعية)، تستخدم الأفلام الملونة لتصوير المحاصيل خلال مراحل النمو المختلفة وتصوير المياه للتعرف على جودتها وتحديد أنواع الترب وفي المسح الجيولوجي ووضع الخرائط الجيولوجية.

4.3.3 – الأفلام الملونة التي تتحسس الأشعة تحت الحمراء (Color Infra-Red Films)

تتكون هذه الأفلام أيضاً من ثلاث طبقات لونية كل منها يتحسس نوعاً معيناً من الأشعة الكهرومغناطيسية لكنها تختلف عن الأفلام الملونة الحقيقية في أن الطبقات الحساسة هي الأخضر والأحمر وتحت الأحمر القريب في المجال الطيفي (0.7-0.9) ميكرومتر بدلاً من الأزرق والأحمر. هذه الطبقات الثلاث حساسة للأشعة الزرقاء أيضاً؛ لذلك يجب استخدام طبقة مرشحة صفراء تمتص الأشعة الزرقاء ومن ثمّ تمنع أي أشعة

طول موجتها أقل من 0.5 ميكرومتر؛ أي تمنع الطاقة الزرقاء وحتى فوق البنفسجية من المرور إلى الفيلم (انظر **الشكل 24**) .

تدعى هذه الأفلام أفلام التمويه والخداع Camouflage detecting film. لأن المظاهر على الصور تظهر بألوان غير ألوانها الحقيقية مما يزيد من صعوبة تفسيرها. وقد استُخدم هذا النوع من الأفلام في الحرب العالمية الثانية لمساعدة العسكريين في تمييز التمويه الاصطناعي في الغطاء النباتي عن الغطاء النباتي الخفيف على الصورة. حيث تظهر النباتات الخفيفة التي تنمو بشكل جيد بلون أحمر فاتح على الأفلام أو الصور المطبوعة، والمظاهر الأخرى التي تعكس الأشعة الحمراء تظهر بلون أخضر، والمظاهر التي تعكس الأشعة الخضراء تظهر بلون أزرق.

شكل (24): مقطع عرضي في فيلم ملون بألوان تحت حمراء

تستخدم هذه الأفلام بالإضافة إلى استخدامها في العمليات العسكرية في تحديد المناطق الزراعية المصابة بالأمراض أو الحشرات أو الفيضانات وغيرها. وتظهر المياه بلون أسود تماماً مما يسهل التعرف على حدود منطقة المياه، انظر **الجدول (1)**.

جدول (1): كيفية انعكاس بعض المظاهر على الصور البنكروماتية وصور الأشعة تحت الحمراء

الظاهرة	صور بنكروماتية	صور تحت حمراء (أبيض وأسود)
المياه الصافية	درجات مختلفة من الرمادي	أسود
مساحات خضراء	رمادي متوسط حتى رمادي قاتم	رمادي فاتح
الظلال	رمادي قاتم	أسود

4.3–آلات التصوير الجوي Aerial Photo cameras

إنّ الحصول على صور جوية ملتقطة من الطائرات و من الأقمار الصناعية يمكن أن يتم بأية آلة تصوير. و من حيث المبدأ فإن معظم الصور الجوية التقطت بآلة تصوير عادية مصممة خصيصاً لهذا الغرض حيث نجد أكثر من 100 نموذج من آلات التصوير الجوي منها ما هو عادي يُستخدم للتصوير من أية وسيلة مواصلات أو من الطائرات الرياضية. ويُستخدم لتصوير أنواع النباتات المحلية من أجل دراسة بعض العينات لاستكمال الدراسات التي تعتمد على تقنية الاستشعار عن بعد. وهناك آلة (يدوية) للتصوير الجوي وتستخدم في التصوير المائل تستخدم أفلام تصوير بأبعاد 9×12 سم وبعدها المحرقي250 ملم. (انظر **الشكل 25**).

شكل (25): آلة تصوير يدوية

وبالرغم من تنوع هذه الآلات يمكن دمجها في أربعة أنواع هي:

1.4.3 – آلات تصوير ذات اللقطة الأحادية العدسة Single-lens Cameras:

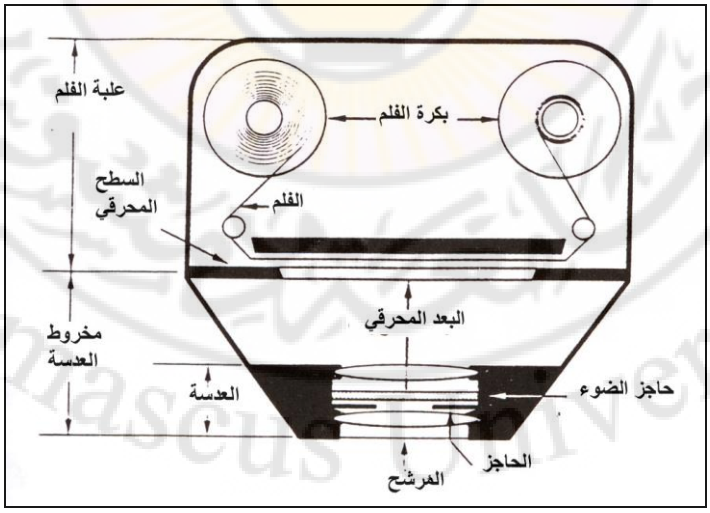
تدعى هذه الآلة آلة التصوير القياسية أو المترية لأن الصور الملتقطة بوساطتها قليلة التشويه وتستخدم لأغراض القياس ووضع الخرائط. تستخدم للتصوير العمودي وهي من أكثر أنواع الآلات شيوعاً واستخداماً في الوقت الحاضر. وهي مصممة لإعطاء صور هندسية عالية الدقة وتستخدم فيها عدسات قليلة التشويه تُثبّت في مكان محدد وأبعاد الصورة (الفيلم) المستخدمة 23×23سم.

ويتم الحصول على صورة عند انفتاح مغلاق آلة التصوير بوساطة جهاز إلكتروني يدعى مؤقت المغلاق Intervalometer. والبعد المحرقي للعدسة هو 152 ملم وأحياناً قد يكون 90 ملم أو 210ملم. أما العدسات ذات البعد المحرقي الأطول والذي يبلغ بعدها المحرقي 300 ملم فتستخدم لتصوير المناطق ذات الارتفاع العالي. انظر **الشكلين (26 و27)** اللذين يُظهران آلة التصوير أحادية العدسة والأجزاء الرئيسة المكونة لها. تتألف هذه الآلة من جسم الآلة الذي يتألف بدوره من عدسات مخروطية تجمع الأشعة الواردة من الظاهرة وترسلها من خلال البعد المحرقي والمغلاق الذي يقوم بتوقيت زمن التقاط الصورة، والمرشحة (فلتر) التي تقوم بعملية الترشيح حسب ما هو مخطط لها.

إنّ نوعية الصورة الملتقطة بهذه الآلة متعلقة بنوعية الفيلم وقدرة التمييز وعوامل مختلفة أخرى. حالياً تستخدم هذه الأنواع من الآلات أفلاماً ذات قياس واحد هو 23×23 سم. ولكن في عدسات مختلفة للحصول على صور متنوعة عن الظاهرة الواحدة. ومن أجل استخدام إمكانيات هذه الآلة بشكل جيد وعملي يجب إضافة أجهزة متممة أخرى وهي: منظم التغطية حيت إن كل صورة تغطي من التي سبقتها نسبة محددة ومن ثمّ يجب أن تحتوي هذه الآلة جهازاً لتنظيم عملية التغطية قد يكون هذا

الجهـاز ملحقـاً بهـا أو مبنيـاً معهـا. إضـافة إلى مُشـغل إلكـتروني لتحريـك الفـيلم وتشـغيل المغلاق آلياً.

شكل (26): آلة تصوير أحادية العدسة



شكل (27): الأجزاء الرئيسة لآلة التصوير

لقد صُمّمت آلات تصوير قياسية Metric camera وآلات كبيرة القياس Large Format Camera ذات دقة هندسية عالية، لاستخدامها على متن الأقمار الصناعية وذلك في عام 1981م وعام 1984م قدمت هذه الآلات صوراً عالية الدقة بأبعاد 23×46 سم للفيلم وغطت مساحة أرضية مقدراها 180×360 كم عند التصوير من ارتفاع 235 كم. استُخدمت هذه الصور في وضع خرائط لسطح الأرض بمقاييس متوسطة تتراوح بين ($\frac{1}{50000}$ و $\frac{1}{100000}$).

هناك آلات تصوير أخرى روسية الصنع مثل كفا1000 KFA ببعد محرقي بلغ 1000 ملم وأيضاً KFA3000 ببعد محرقي 3000 ملم، إضافة إلى أنظمة كاتيا 140 KATE، وبعدها المحرقي 140 ملم و200 KATE وبعدها المحرقي 200 ملم. أخيراً تستخدم هذه الآلات في التصوير ضمن المجال الطيفي المرئي 0.4 –0.7 ميكرومتر. (انظر **الجدول 2**). للمزيد انظر (Albertz 2001).

جدول (2): بعض أنواع آلات التصوير المستخدمة على متن الأقمار الصناعية وخصائصها

نوع الآلة	مقاس الفيلم /ملم^2	البعد المحرقي /ملم	ارتفاع القمر الصناعي/كم	المساحة المصورة /كم^2	مقياس الصورة
آلة تصوير قياسية MC	230×230	305	250	185×185	1: 820000
آلة تصوير كبيرة المقاس LFC	457×230	305	370 -240	350×180 حتى 540×270	1: 780000 حتى 1:200000
كفا KFA -1000	300×300	1000	270 -200	60×60 حتى 80×80	1: 200000 حتى 1: 270000
متعددة الأطياف 6 MKF	81×55	125	350 -250	160×140 حتى 225×150	1: 2000000 حتى 1: 2800000

2.4.3– آلات التصوير ذات اللقطة متعددة العدسات Multi-lens Cameras:

يتم بوساطة هذه الآلة التقاط صوراً في مجالات متعددة للمكان نفسه وفي وقت واحد لكن باستخدام عدة مرشحات. وتمثل الصور الفوتوغرافية الناتجة منطقة واحدة مصورة على فيلم غير ملون (أسود وأبيض) حساس للأشعة تحت الحمراء بعد الترشيح للحصول على مجالات محددة من الموجات في النطاق الأزرق والأخضر والأحمر وتحت الأحمر القريب. يُظهر التصوير المتعدد اللقطات تباين المظاهر على الصورة بشكل أفضل وهذه إحدى مشكلات تفسير الصورة المتعددة للظاهرة الواحدة وتحليلها.

هناك آلات تحوي أربع عدسات وست عدسات وتسع عدسات أيضاً تستخدم هذه الآلات نوعين من الأفلام الأول بنكروماتي (أبيض وأسود عادي) والثاني أبيض وأسود في الأشعة تحت الحمراء، بالإضافة إلى أنواع مختلفة من المرشحات ومن ثمّ تقدم لنا تسع صور للمنطقة نفسها ضمن تغيرات في المجال الطيفي لا تزيد عن 0.5 ميكرومتر وبمقاس 40×40 ملم للفيلم. لقد استخدمت الولايات المتحدة في برامج سكايلاب للفضاء آلات تصوير متعددة الأطياف تحوي ست عدسات ببعد محرقي 150 ملم لأفلام مقاسها 5.6×5.6 سم ضمن أربعة مجالات طيفية؛ اثنان في المجال المرئي واثنان في المجال تحت الأحمر أحدهما ملون. (انظر **الشكلين 28 و29**).

3.4.3 –آلات تصوير ذات شريط (فيلم): Strip cameras:

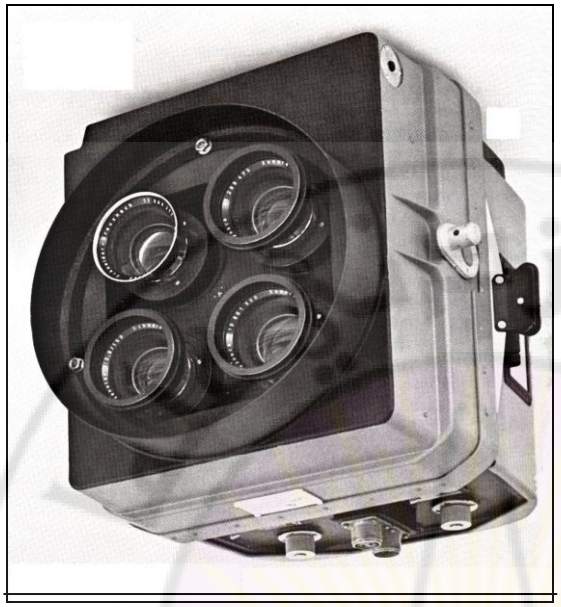
هي آلات تقوم بالتصوير بوساطة تحريك فيلم أمام فتحة ثابتة في المستوى المحرقي في أثناء تحرك آلة التصوير إلى الأمام ويبقى مغلاق التصوير ذو الشريط مفتوحاً طيلة فترة التصوير. وتتم إزالة تغبيش الفيلم من خلال تحرير الفيلم أمام الفتحة بسرعة تساوي سرعة الصورة المتحركة (بما يتناسب مع سرعة الطائرة). وهكذا تقوم آلة التصوير ذات الشريط بموازنة حركة الفيلم بما يتناسب وحركة الصورة. صمم هذا النوع من الآلات

للاستخدام في عمليات الاستطلاع العسكرية. التي تتم من ارتفاعات منخفضة وبسرعة كبيرة. ومن ثمّ يسمح بالحصول على صور تفصيلية عن المنطقة المصورة إضافة إلى استخدامها في الكثير من التطبيقات الأخرى غير العسكرية .

4.4.3 –آلات التصوير البانورامي Panoramic cameras :

هي آلات حديثة نسبياً وتشبه آلات التصوير ذات الشريط. حيث تُصوّر مساحة ضيقة في زمن محدد من خلال فتحة ضيقة، وتصميم هذا النوع من الآلات يتضمن عدسة ثابتة ومستوى منبسطاً للفيلم حيث يتم المسح من خلال تدوير الموشور أمام العدسة ولكن الصور الناتجة تحوي تشويهاً بانورامياً Panoramic Distortion ويظهر على شكل انضغاط للمظاهر في نهايتي الصورة إضافة إلى تشوه آخر لموقع المسح Scan positional distortion ناتج عن تقدم الطائرة في أثناء عملية التصوير.

استُخدم هذا النوع من الآلات في عمليات الاستطلاع العسكري من ارتفاعات عالية إضافة إلى استخدامها في تصوير جزء من سطح القمر خلال رحلة المركبة الفضائية أبولو، تتميز آلة التصوير البانورامي بأنها تستطيع تصوير مساحات أكبر من الآلات ذات اللقطة الواحدة تصل إلى أكثر من 35 كم في كل جانب ومن ثمّ يمكن استخدامها في التغطية المجسمة (الستيريوسكوبية). كما أنها تعطي تفصيلات للمظاهر أكثر منها أيضاً إلا أنها تفتقر إلى الدقة في ترتيب المظاهر.



شـكل(**28**): آلـة تصـوير ذات اللقطة متعددة العدسـات تحوي مرشحات زرقاء، خضراء، حمراء وتحت حمراء

شـكل (**29**): آلـة تصـوير متعددة اللقطات

5.3 – أنواع الصور الجوية: Types of Photographs

يمكن تصنيف الصور الجوية حسب ميلان المحور الأساسي عن الوضع العمودي أو حسب نوع آلة التصوير المستخدمة.

1.5.3 تصنيف الصور حسب درجة ميلان المحور الأساسي:

تقسم الصور حسب ميلان محورها عن المحور العمودي إلى ما يلي:

1- الصور العمودية (الرأسية) Vertical photographs:

هي صور تكون درجة ميلان محورها الأساسي عن المحور العمودي أقل من 3 درجات، وتتميز بتجانس المقياس في جميع أجزاء الصورة ويمكن نقل المعلومات منها بسهولة إلى الخريطة، لذلك تستخدم هذه الصور في الأعمال المساحية ووضع الخرائط[3]. تُعدّ الصور الملتقطة بآلة تصوير ذات اللقطة الواحدة الأكثر شيوعاً في مجال التصوير الجوي.

2- الصور الجوية قليلة الميل Low oblique photographs:

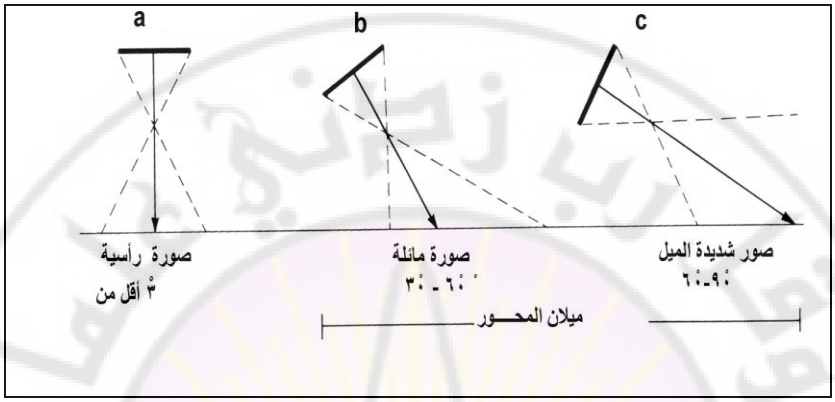
تتميز بأن المحور الأساسي يميل عن المحور العمودي بدرجات قليلة تزيد على 3 درجة وتتميز هذه الصور بعدم تجانس مقياسها لذلك لا تستخدم في عمليات القياس. كما وتختفي مظاهر السطح الصغيرة على الصورة ذلك لأن ظل المظاهر العالية يقع أمامها أحياناً لذلك فهو يستخدم في تصوير المناطق العسكرية للتمويه.

3- الصور الجوية شديدة الميل High oblique photographs:

يكون فيها محور العدسة مائلاً بشكل كبير عن المحور الشاقولي ومن ثمّ فإنها تغطي مساحة أكبر. ويمكن الحصول على هذه الصور بوساطة آلة تصوير عادية لذلك فهي اقتصادية وتحتوي على تشوه كبير كلما ابتعدنا عن مقدمة الصورة، ومن ثمّ يكون المقياس مختلفاً

[3] من النادر الحصول على صور عمودية حقيقية بسبب عمليات الدوران الزاوي أو الانحراف الناتج عن الوضع الزاوي للطيران لحظة التصوير، لذلك يميل محور آلة التصوير قليلاً عن الوضع الشاقولي فينتج عنه صورة قليلة الميل.

بشكل كبير على أجزاء الصورة مما يجعل إمكانية القياس عليها صعبة ومعقدة. انظر **الشكل (30– a b c)** والشكل(**31– a وb**).



شكل (30): تصنيف الصور حسب ميلان محور العدسة

2.5.3 تصنيف الصور الجوية حسب نوع آلة التصوير

في أثناء التقاط الصور يتم استخدام ثلاثة أنواع من العدسات عادة هي:

1- آلة تستخدم عدسات تصوير ذات زوايا عادية Normal angle camera بعدها المحرقي (170-300) ملم. وزاوية الرؤية فيها يتراوح بين 60°-65°، وأبعاد الأفلام المستخدمة هي 14×14 سم أو 18×18 سم و23×23 سم، ويُستخدم هذا النوع من الآلات لتصوير مناطق لا تتجاوز ارتفاعات الأرض فيها 10% من ارتفاع الطائرة (إذا كان ارتفاع الطائرة 6000 م) هذا يعني أن الفروقات بين نقاط التصوير يجب ألاّ تزيد على 600 م .

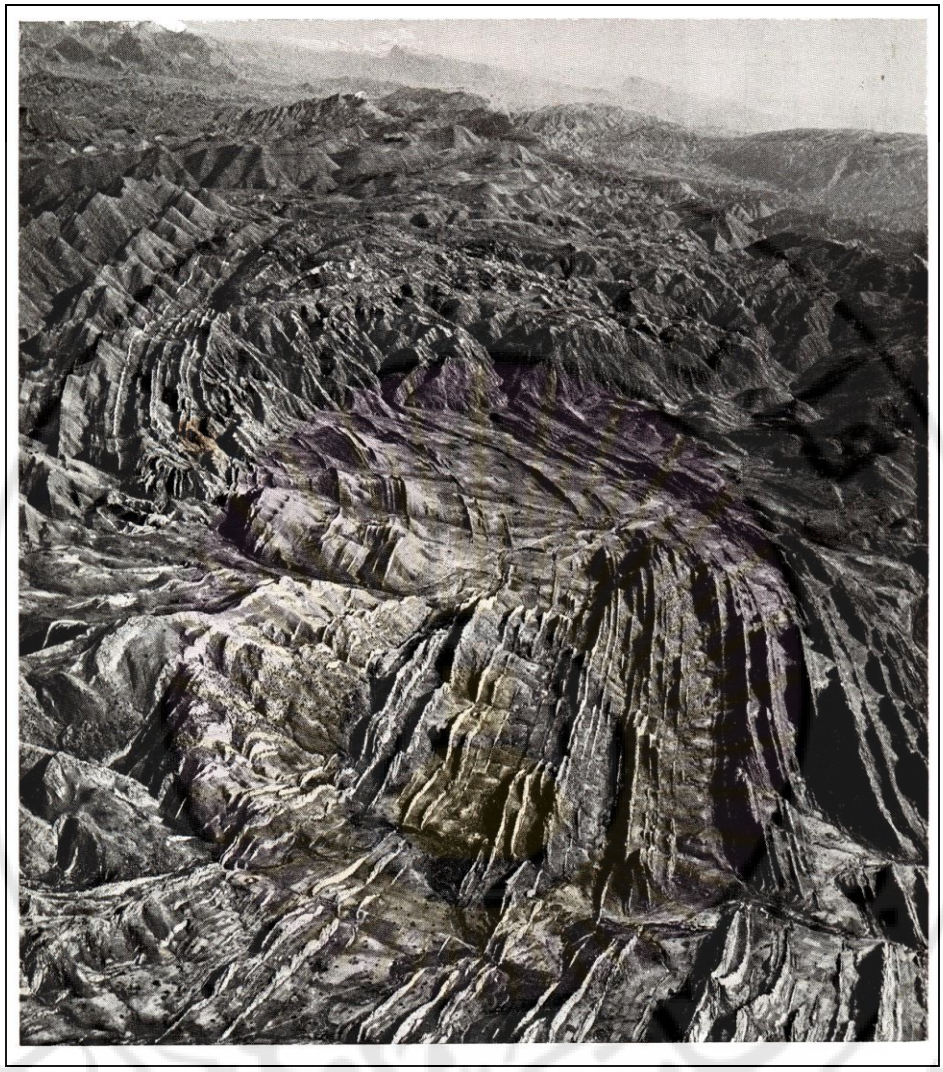
2- آلة تستخدم عدسات تصوير ذات زوايا واسعة Wide angle camera بعدها المحرقي يتراوح بين (100-152) ملم. أما زاوية الرؤية فتتراوح بين (90- 100) درجة وأبعاد الأفلام هي الأبعاد نفسها 14×14 سم أو 18×18 سم أو 23×23 سم، وتُستخدم هذه الآلات في تصوير مناطق تتراوح فيها ارتفاعات الأرض بين 5%- 15% من ارتفاع الطائرة.

3 – آلة تستخدم عدسات ذات زوايا واسعة جداً Super wide angle بعدها المحرقي (55–88) ملم. وزاوية الرؤية فيها تتراوح بين 120˚–135˚ أما أبعاد الأفلام المستخدمة في التصوير فهي 18×18 سم أو 23×23 سم وتستخدم في مناطق فروقات ارتفاعات الأرض لا تزيد على 5 % من ارتفاع الطائرة (انظر **الجدول 3**).

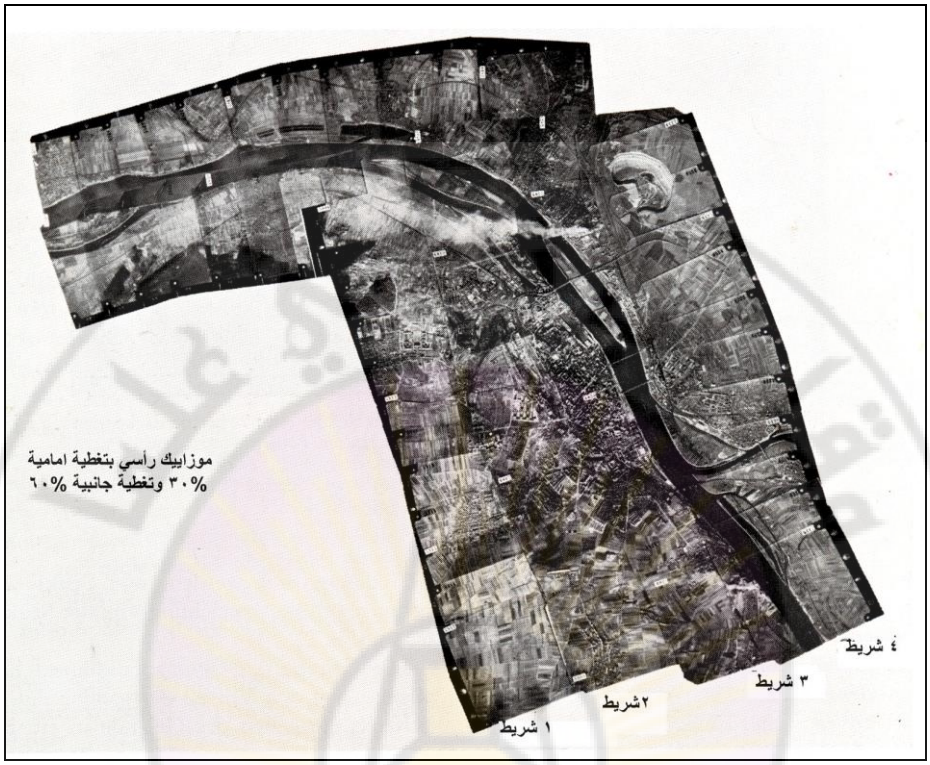
تُعدّ آلة التصوير ذات الزواية الواسعة جداً أكثر أهمية لأنها تغطي مساحة أكبر من الأرض إضافة إلى دقة المعلومات ولاسيما حساب ارتفاعات النقاط نتيجة قلة فروقات ارتفاعات الأرض.

جدول (3): أنواع آلات التصوير ذات اللقطة أحادية العدسة وخصائصها

نوع الآلة	البعد المحرقي	زاوية عدسة التصوير (حقل الرؤية)
آلة ذات زوايا ضيقة	610 ملم	30˚ – 33˚
آلات ذات زوايا عادية	300 ملم	56˚-62˚
آلات ذات زوايا أكثر من عادية وأقل من واسعة	210 ملم	75˚ – 83˚
آلات ذات زوايا واسعة	150 ملم	94˚-104˚
آلات ذات زوايا واسعة جداً	90 ملم	122˚-134˚



شكل 31 (a): صورة مائلة درجة الميلان بين 30 –60 درجة لمنطقة جبلية تقع جنوب شرق مسجد سليمان في إيران



شكل 31 (b): موزاييك جوي عمودي

6.3– المساحة التصويرية (الفوتوغرامتري) Photogrammetry :

فوتوغرامتري كلمة يونانية مؤلفة من ثلاثة مقاطع هي: Photos وتعني الضوء وGramm وتعني الشيء المرسوم أو المكتوب وMetron وتعني قياس الشيء ومن ثمّ فالمقصود بالمساحة التصويرية (القياس من الرسم بوساطة الضوء). وقد عُرّف هذا المصطلح في كتاب الفوتوغرافي (1948): بأنه علم وفن الحصول على قياسات موثوقة باستخدام الصور الجوية، وحالياً يعرف على أنه علم المساحة التصويرية أو علم القياس من الصور بدقة كافية لتحديد مواقع الأماكن على سطح الأرض.

وقد عرفته رابطة الفوتوغرافيين الأمريكيين عام 1980م على أنه: (فن وعلم وتقنية الحصول على معلومات وبيانات مؤكدة عن المظاهر الطبيعية البيئية من خلال تسجيل

الصور الجوية الفضائية وقياسها وتفسيرها [4]. أما استخدام الصور الجوية في إنتاج الخرائط فيطلق عليه مفهوم المساحة الجوية Arial Survey.

1.6.3 أقسام المساحة التصويرية

تقسم المساحة التصويرية إلى ثلاثة أقسام:

- المساحة التصويرية الأرضية Terrestrial Photogrammetry :

تعني التقاط الصورة بآلة تصوير موضوعة على حامل يتم تثبيته على الأرض في مكان معلوم الإحداثيات، بحيث يكون محور البصر (النظر) لآلة التصوير أفقياً في أثناء التقاط الصور.

- المساحة التصويرية الجوية Aerial photogrammetry :

تعني التقاط الصور بوساطة آلة تصوير يتم تثبيتها أسفل الطائرة التي تقوم بعملية التصوير بحيث يكون المحور البصري لآلة التصوير عمودياً في حالة التصوير العمودي (الرأسي)، أو مائلاً في أثناء التصوير المائل، أما موقع عدسة التصوير فيكون غير معروف في أثناء التقاط الصور.

- المساحة التصويرية الفضائية Space photogrammetry:

تعني التقاط الصور من ارتفاعات عالية من سطح الأرض بوساطة أقمار فضائية التي تحتوي على مواسح إلكترونية (مشعرات) خاصة بعملية التصوير الفضائي.

7.3– التقاط الصور العمودية Taking Vertical Aerial Photographs:

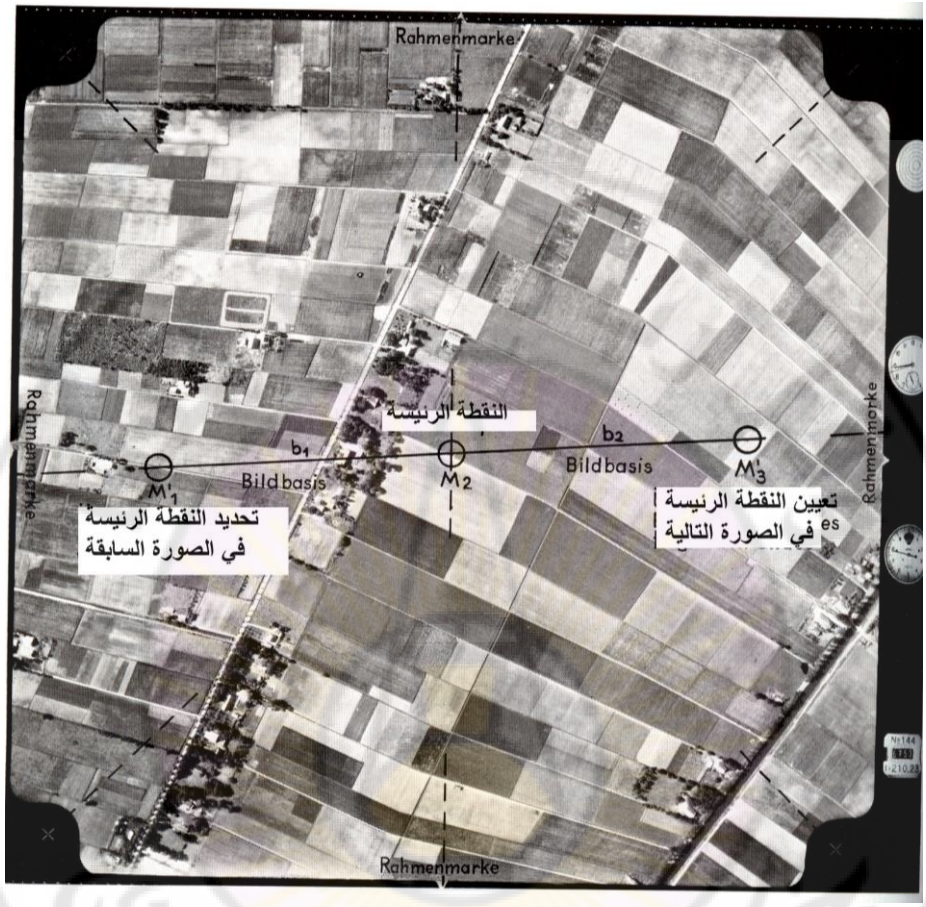
تُلتقط معظم الصور الجوية بآلات تصوير ذات لقطة واحدة على طول خط الطيران يُدعى الخط الذي تطير الطائرة فوقه في أثناء عملية التصوير خط النظير Nadir)

[4] Manual of photogrametry, American Society of photogrammetry, 3rd, edition, 1980.

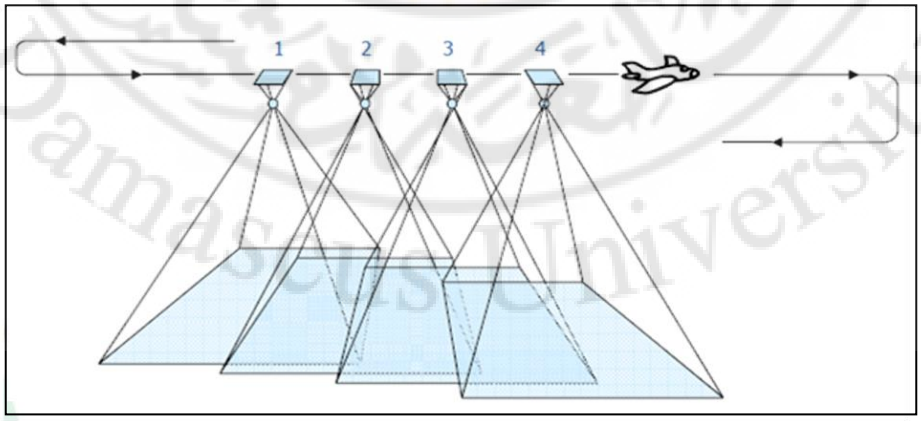
(line وهو الخط الذي يصل مراكز الصور العمودية بعضها ببعض. وتسمى النقطة الأرضية التي تكون شاقولياً تحت مركز عدسة التصوير بنقطة النظير (Nadir point).

تُلتقط صور متتابعة تتداخل نهاياتها مع بعضها، وهذا التداخل لا يحقق تغطية كاملة للمنطقة التي يراد تصويرها على طول خط الطيران بل لابد من تداخل أمامي Longitudinal Overlapping يصل إلى 60% أي إن كل صورة يجب أن تغطي من الصورة التي قبلها 60% هذا يعني أن المسافة الصافية تعادل 40% (وهذا يدعى التغطية الفعالة Effective coverage) لذلك كل نقطة في الأرض المصورة تظهر في صورتين أو أكثر، أما التداخل في الصور المتجاورة على خط الطيران فيدعى التداخل الجانبي Side overlapping ويتراوح بين 25% – وحتى 40% وهو ضروري للتأكد من تصوير أشرطة المنطقة كلها ومن ثمّ عدم حصول أية فجوات غير مصورة بين شريط وآخر.

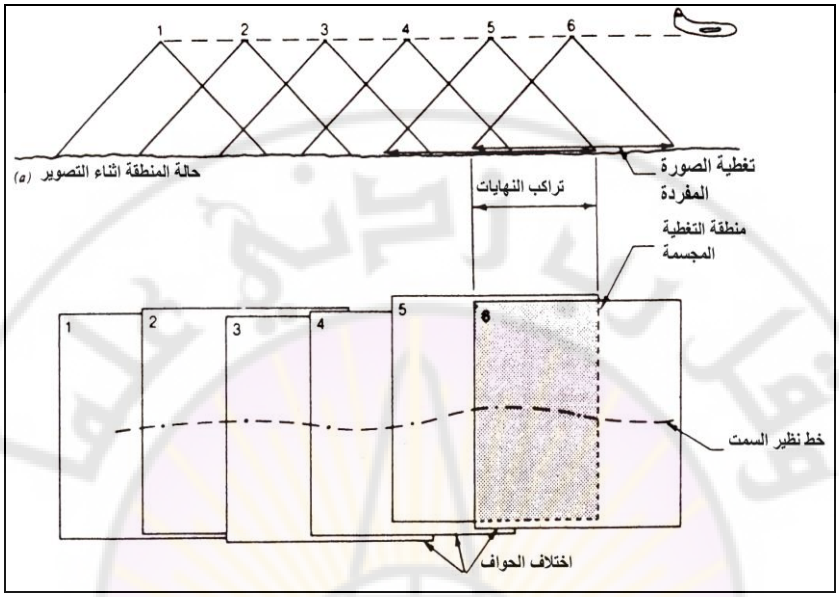
في الأحوال كلها ليس من الضروري الاحتفاظ بنسبة تداخل أمامي وجانبي موحد في أنواع التصوير كلها لأن ذلك يرتبط بالغاية التي يتم التصوير من أجلها، لذلك يجب على المصورين عند استخدام الصور في وضع الخرائط مراعاة ظهور ثلاث نقاط رئيسة في كل صورة تدعى النقاط الرئيسة Principal points. النقطة الرئيسة في الصورة هي نقطة تقاطع محور آلة التصوير مع مستوى الطائرة وتنطبق على اللوح السالب أي تقاطع قطري الصورة.(انظر **الشكل 32**).تُلتقط صور متلاحقة على طول خط الطيران في لحظات يضبطها مؤقت مغلاق آلة التصوير، والمنطقة المتداخلة تدعى منطقة التغطية المجسمة Stereoscopic Overlap Area. انظر **الأشكال (33–34–35)**.



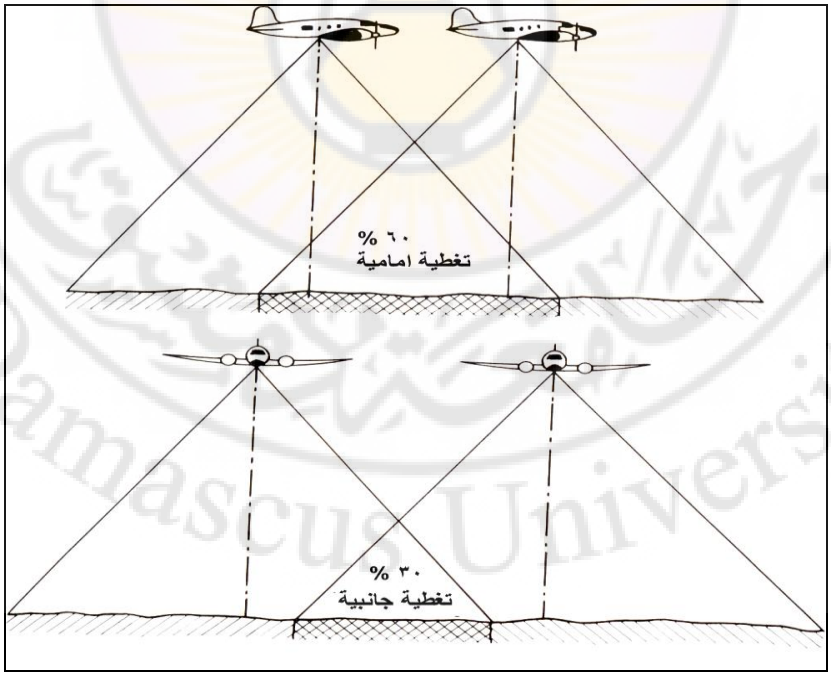
شكل (32): تحديد النقاط الرئيسة على الصورة (عن Schneider 1974)



شكل (33): التقاط الصور بشكل متتابع على خط الطيران



شكل (34): تراكب الصور على طول خط الطيران



شكل (35): التغطية الأمامية والجانبية في الصور المتلاحقة (عن Schneider 1974)

أما طريقة حساب التغطية الأمامية ويرمز لها R1فيتم من خلال العلاقة الآتية:

$$R1 = \frac{d - B}{d} \times 100$$

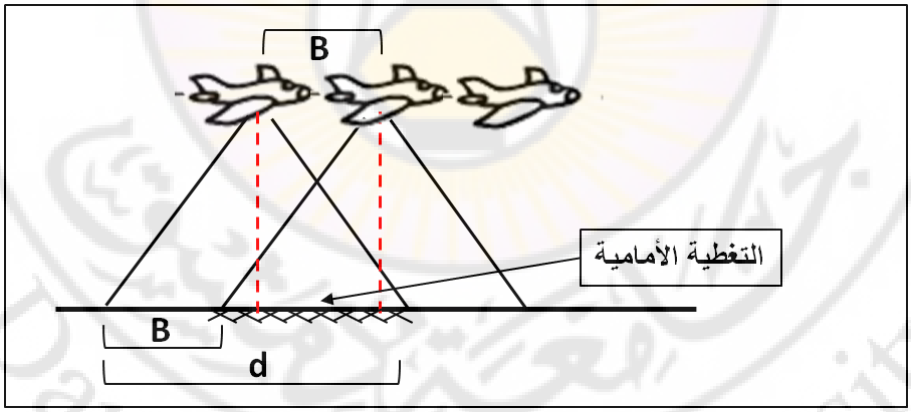
حيث:

R1 – تمثل مقدار التغطية الأمامية المطلوبة.

d – تمثل طول ضلع الصورة المطلوبة.

B – تمثل طول المنطقة المتداخلة (طول خط القاعدة الجوية أو ما يدعى المسافة بين موضعي التقاط صورتين متتاليتين). (انظر **الشكل 36**).

يجب أن لا تقل التغطية الأمامية بأي حال من الأحوال عن 50% ويفضل أن تكون 60 % لضمان عدم وجود فجوات غير مصورة بسبب انحراف الطائرة، أو ميل محور آلة التصوير، واختلاف فروقات ارتفاع الأرض، واهتزاز الطائرة واختلاف ارتفاعها نتيجة لذلك .



شكل (36): كيفية حساب التغطية الأمامية

أما حساب التغطية الجانبية ويرمز لها R2 فيتم من خلال العلاقة الآتية:

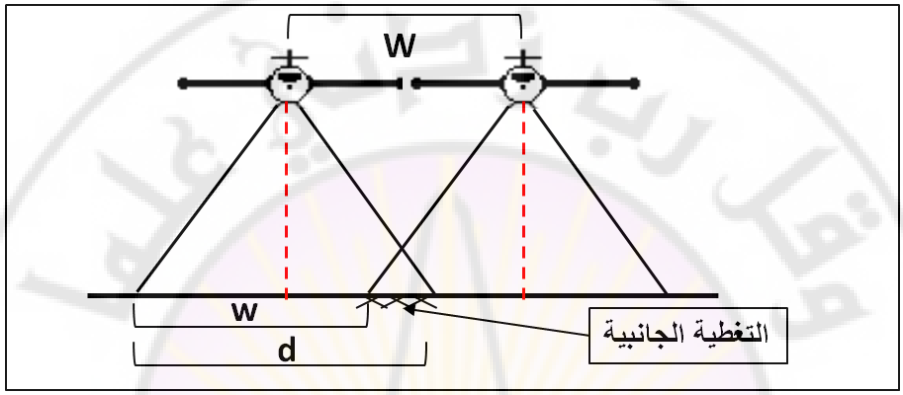
$$R2 = \frac{d - w}{d} \times 100$$

حيث:

R2 – تمثل مقدار التغطية الجانبية المطلوبة

d – تمثل طول ضلع الصورة المطلوبة.

W – تمثل المسافة بين خطوط الطيران. (انظر **الشكل 37**).



شكل (37): كيفية حساب التغطية الجانبية

لوضع خرائط طبوغرافية يجب أن تكون التغطية الجانبية 30% والأمامية 60%.

مثال 1:

إذا كانت القاعدة الجوية لزوج من الصور الجوية العمودية 1600 متر وارتفاع الطائرة 3200 م والبعد المحرقي 160 ملم وأبعاد الصورة الجوية المطلوبة 23×23 سم ما مقدار التغطية الأمامية ؟

لمعرفة التغطية الأمامية لابد من حساب مقياس الصورة أولاً ومن ثم حساب طول ضلع الصورة المطلوبة.

- المقياس يتم حسابه من العلاقة الآتية (سيتم شرحه لاحقاً) $S = \frac{F}{H}$

أي $\frac{1}{20000} = \frac{160}{3200 \times 1000}$

- طول ضلع الصورة على الأرض = (طول الضلع على الصورة × مقلوب مقياس الصورة) أي $23 \times 20000 = 4600$ م

- مقدار التغطية الأمامية = $R1 = \frac{d-B}{d} \times 100$

أي $\frac{1600-4600}{4600} \times 100 = 65\%$

مثال 2:

إذا كانت المسافة بين خطي طيران متتالين (المنطقة المتداخلة) 3200 متر ومقياس الصورة المطلوب هو 1: 20000 وأبعادها 23× 23 سم أوجد مقدار التغطية الجانبية ؟

- **أولاً** لابد من حساب طول ضلع الصورة المطلوبة على الأرض أي

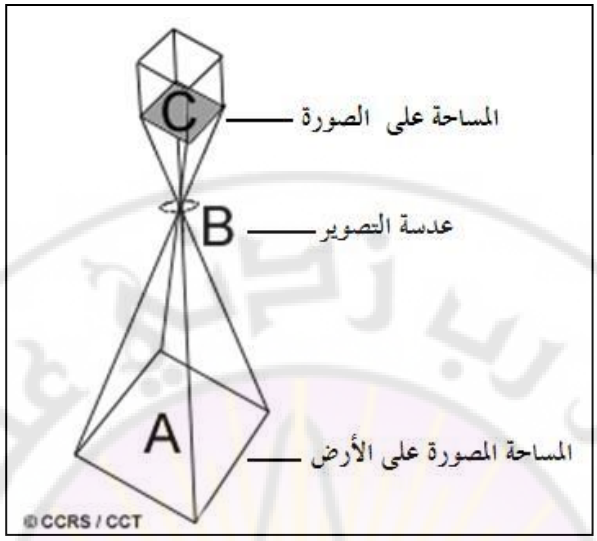
$23 \times 20000 = 4600$ م

- التغطية الجانبية = $R2 = \frac{d-w}{d} \times 100$

$= \frac{3200-4600}{4600} \times 100 = 30\%$.

8.3 – حساب مقياس الصورة الجوية العمودية Scale of vertical Aerial photography

إن المظاهر التي تحتوي عليها الصورة الجوية تتعلق بالدرجة الأولى بمقياسها. ومقياس الصورة الجوية كمقياس الخريطة هو النسبة بين المسافة على الصورة والمسافة الفعلية على الأرض (انظر **الشكل 38**). كلما كبر مقياس الصورة كانت تفاصيل المظاهر أكثر وضوحاً.

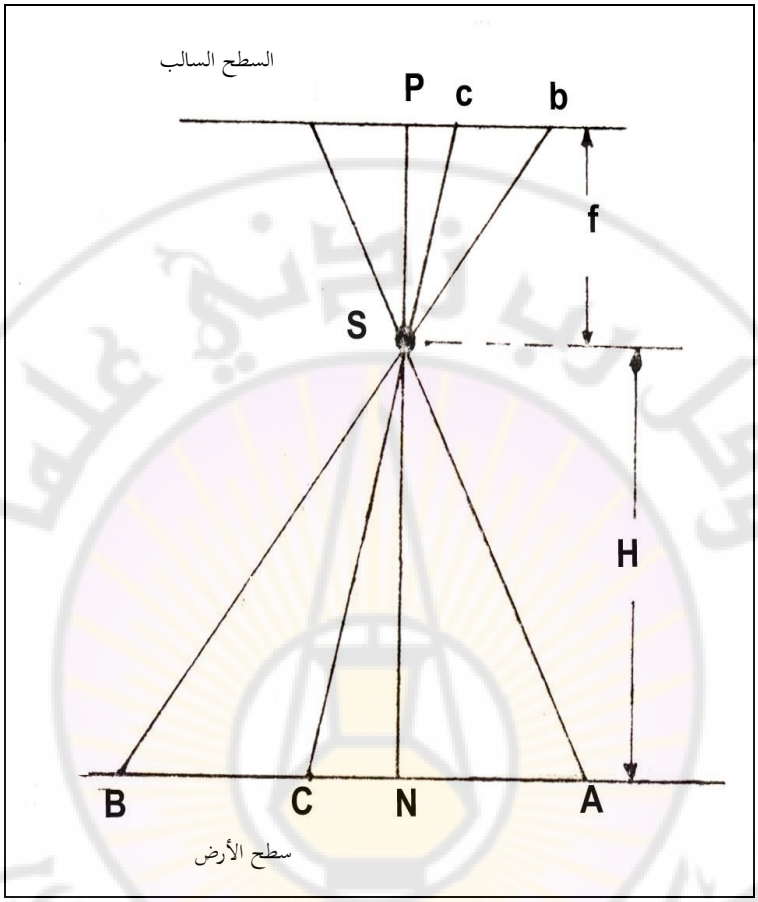


شكل (38): مقياس الصورة الجوية

يتم حساب مقياس الصور الجوية بطرق عدة هي:

الطريقة الأولى: حساب المقياس على أرض منبسطة قليلة الارتفاع:

بما أنّ الصور العمودية تتميز بتجانس المقياس على أجزاء الصورة كلها يتم حساب المقياس بدلالة البعد المحرقي، وارتفاع الطائرة. حيث إنّ أي خط على السطح السالب يكون أفقياً وموازياً لنظيره على الأرض الذي يمثل قطاعاً يمر خلال المحور الأساسي كما هو موضح **في الشكل (39)**.



شكل (39): حساب مقياس صورة عمودية على أرض منبسطة

من الشكل نجد أن a.b هما نقطتان على السطح السالب و A.B هما النقطتان المماثلتان على الأرض فإن الخط a.b موازٍ للخط A.B والخط PSN يكون عمودياً عليهما وبما أن الخط a b على السطح السالب يمثل A B على الأرض فإن المقياس على طول الخط a b هو $\frac{ab}{AB}$ (1)

من تشابه المثلثين a b s، A B S نجد أنّ:

$$\frac{ab}{AB}=\frac{PS}{SN}=\frac{F}{H} \quad \text{ومنه} \quad \frac{ab}{AB}=\frac{F}{H} \quad (2)$$

من العلاقتين السابقتين (1) و (2) نستنتج أن مقياس الصورة هو $S = \frac{F}{H}$

حيث:

F : هي البعد المحرقي.

H : هي ارتفاع الطائرة.

بالإضافة إلى تحديد المقياس من خلال البعد المحرقي وارتفاع الطائرة الذي تطرقنا له سابقاً يمكن حساب كل من البعد المحرقي وارتفاع الطائرة بدلالة المقياس.

العلاقة بين مقياس الصورة والبعد المحرقي وارتفاع الطائرة :

حُدّد مقياس الصورة استناداً إلى البعد المحرقي لآلات التصوير وارتفاع الطيران. (انظر **الشكل 40**) الذي يبين العلاقة بين البعد المحرقي F والمقياس S وارتفاع الطائرة H. ويتم حسابه من خلال المعادلة :

البعد المحرقي = المقياس × ارتفاع الطائرة أي $F = S \times H$

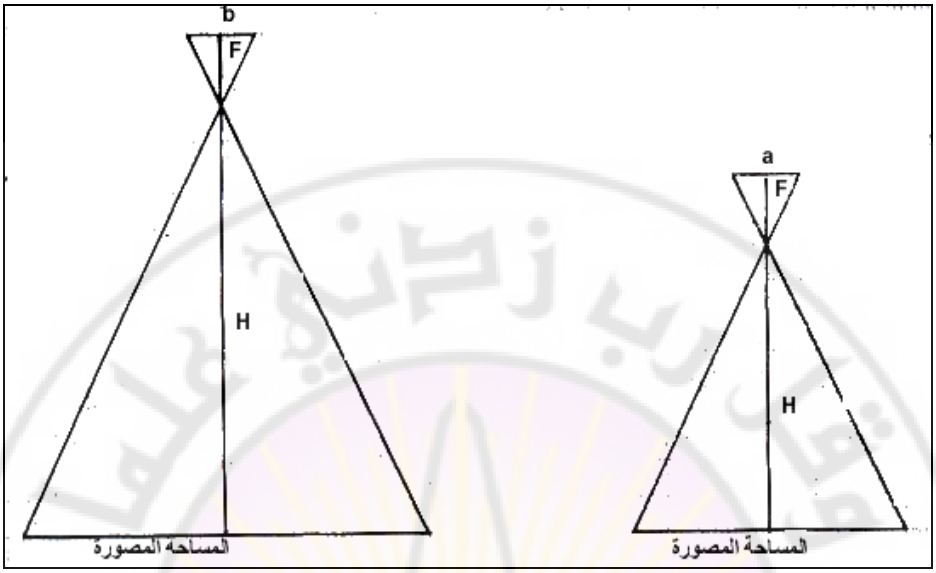
وارتفاع الطائرة: $H = \frac{F}{S}$

مثال 1:

حساب ارتفاع الطائرة المستخدمة في الحصول على صور مقياسها $\frac{1}{20000}$ مع آلة تصوير بعدها المحرقي 88 ملم.

مع تطبيق القانون $F = S \times H$ نستنتج أن $0{,}088 = H \times \frac{1}{20000}$ ومن ثمّ فإن

$H = 20000 \times 0{,}088 = 1760$ م



شكل (40): علاقة البعد المحرقي بمقياس الصورة إذا تغير الارتفاع

من الشكل نجد أن البعد المحرقي ثابت ولنفرض أنه يعادل (100) ملم ولكن المساحة المصورة تغيرت ومن ثمّ تغير المقياس نتيجة تغير ارتفاع الطائرة. حيث إنّه كلما زاد الارتفاع صغر المقياس لأن مساحة الأرض المصورة أصبحت أكبر.

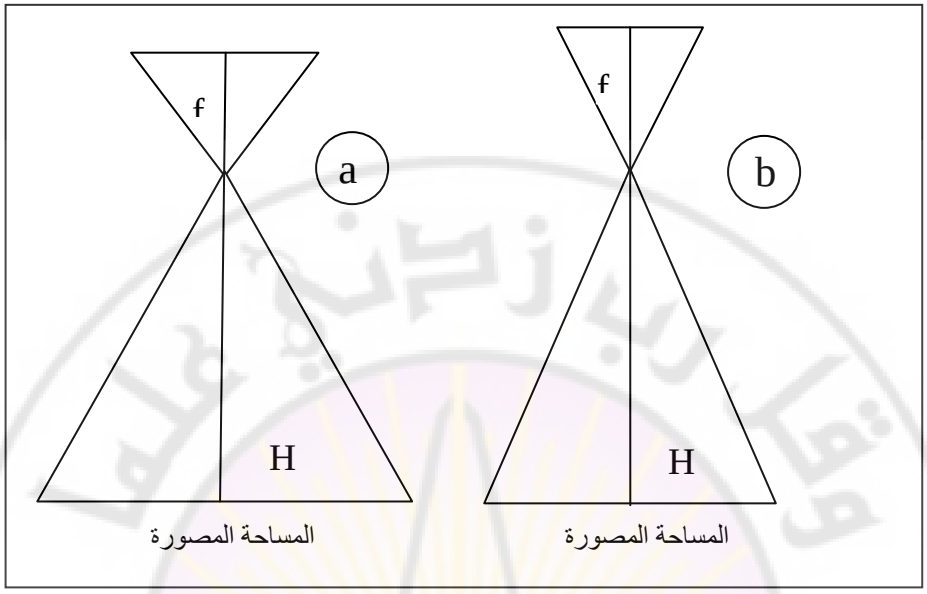
مثال 2:

إذا كان طول المنطقة المصورة على الصورة في الشكل (40– a) 4 سم وارتفاع الطائرة 2000 متر

يكون المقياس $\frac{1}{20000} = \frac{100}{2000 \times 1000}$

وفي الشكل (40– b) إن طول المسافة المصورة 6 سم وارتفاع الطائرة 3000 متر ومن ثمّ سيكون المقياس $\frac{1}{30000} = \frac{100}{3000 \times 1000}$

ولكن إذا بقي ارتفاع الطائرة ثابتاً وتغير البعد المحرقي كما في **الشكل (41)**. نجد أن المساحة المصورة تزداد مع تناقص البعد المحرقي ومن ثمّ يصغر المقياس كما في **الشكل (41–a)** والعكس صحيح.



شكل (41): علاقة ارتفاع الطيران بمقياس الصورة إذا تغير البعد المحرقي

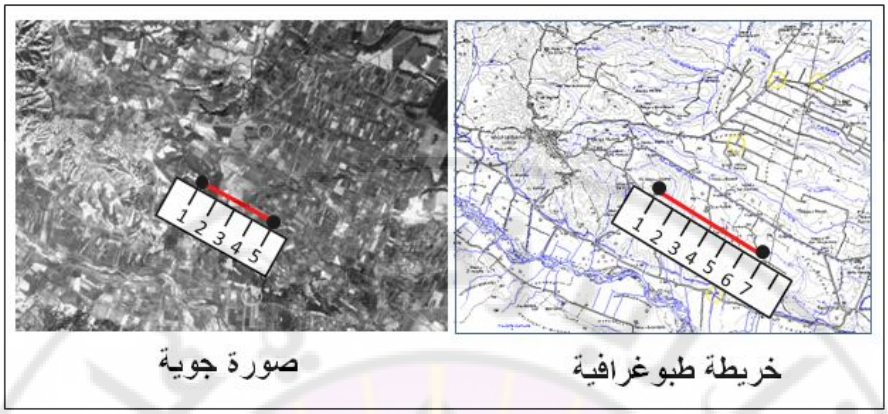
الطريقة الثانية: حساب المقياس بدلالة خريطة طبوغرافية للمنطقة المصورة

أبسط الطرق لتحديد مقاييس الصورة الجوية هي قياس المسافة بين نقطتين على الصورة، وقياس المسافة نفسها على خريطة طبوغرافية بدلالة مقياسها للمنطقة نفسها ويتم حساب المقياس كما يلي:

$$\text{مقياس الصورة الجوية} = \frac{\text{المسافة على الخريطة} \times \text{مقلوب مقياسها}}{\text{المسافة على الصورة}}$$

مثال:

التقطت صورة عمودية أبعادها (23×23) سم لمنطقة ما بمساعدة خريطة طبوغرافية المنطقة نفسها مقياسها 50000/ 1 قِيست مسافة معينة بين نقطتين معلومتين على الخريطة والصورة الجوية مع الأخذ بالحسبان فروق ارتفاعات قليلة بين النقطتين فبلغت المسافة على الصورة الجوية 70 ملم وعلى الخريطة 50 ملم. احسب مقياس الصورة الجوية. (انظر الشكل 42).



شكل (42): كيفية حساب مقياس صورة جوية بدلالة خريطة طبوغرافية

يتم حسابه مباشرة من المعادلة السابقة:

$$\frac{d' \times S'}{d} = S \quad \text{أي} \quad \frac{50 \times 50000}{70} = \frac{2500000}{70} = \frac{1}{36000}$$

حيث:

S مقياس الصورة

S′ مقلوب مقياس الخريطة

d′ = المسافة على الخريطة

d = المسافة على الصورة

الطريقة الثالثة: حساب المقياس بدلالة صورة جوية ثانية للمنطقة المصورة

يمكن حساب مقياس الصورة الجوية أيضاً في حال توفر صورة جوية ثانية للمنطقة المصورة، وهي طريقة مشابهة للطريقة الثانية بدلالة مقياس خريطة. حيث تُقاس المسافة بين نقطتين على الصورة الأولى، وتُقاس المسافة نفسها على صورة جوية ثانية بدلالة مقياسها للمنطقة نفسها.

ويُحسب المقياس كما يلي:

$$\text{مقياس الصورة الجوية الأولى} = \frac{\text{المسافة على الصورة الثانية} \times \text{مقلوب مقياسها}}{\text{المسافة على الصورة الأولى}}$$

مثال:

احسب مقياس الصورة الجوية في حال وجود صورة جوية ثانية مأخوذة بآلة تصوير ذات بعد محرقي 152,4 ملم من ارتفاع 3500 م فوق سطح البحر، وكانت المسافة بين نقطتين محددتين على الصور الأولى والثانية على الترتيب 3,6 سم، 4,1 سم.

يتم حساب مقياس الصورة الجوية الثانية أولاً:

$$s = \frac{F}{H} = \frac{0{,}1524}{3500} = \frac{1}{23000}$$

ثم تُطبق المعادلة السابقة:

$$\text{مقياس الصورة الجوية الأولى} = \frac{23000 \times 4{,}1}{3{,}6}$$

الطريقة الرابعة: حساب المقياس بدلالة مساحة أرضية معلومة

يمكن حساب مقياس الصورة الجوية إذا توفرت معلومات عن مساحة أرض محددة على الصورة، ففي هذه الحال يكون المقياس الناتج بدلالة مساحة أرض هو مربع المقياس لذلك نحسب الجذر التربيعي للحصول على المقياس المطلوب.

$$\text{مربع المقياس} = \frac{\text{المساحة على الصورة}}{\text{المساحة على الأرض}}$$

مثال:

إذا حُدِّد مستطيل على صورة جوية أبعاده (10× 6,5 سم) وكانت المساحة الأرضية لهذا المستطيل 4 هكتار، أوجد مقياس الصورة.

نحسب مساحة المستطيل على الصورة الجوية: $10 \times 6{,}5 = 65$ سم^2

ثم نحسب المساحة على الأرض: 4× 100000000 سم^2= 400000000 سم^2

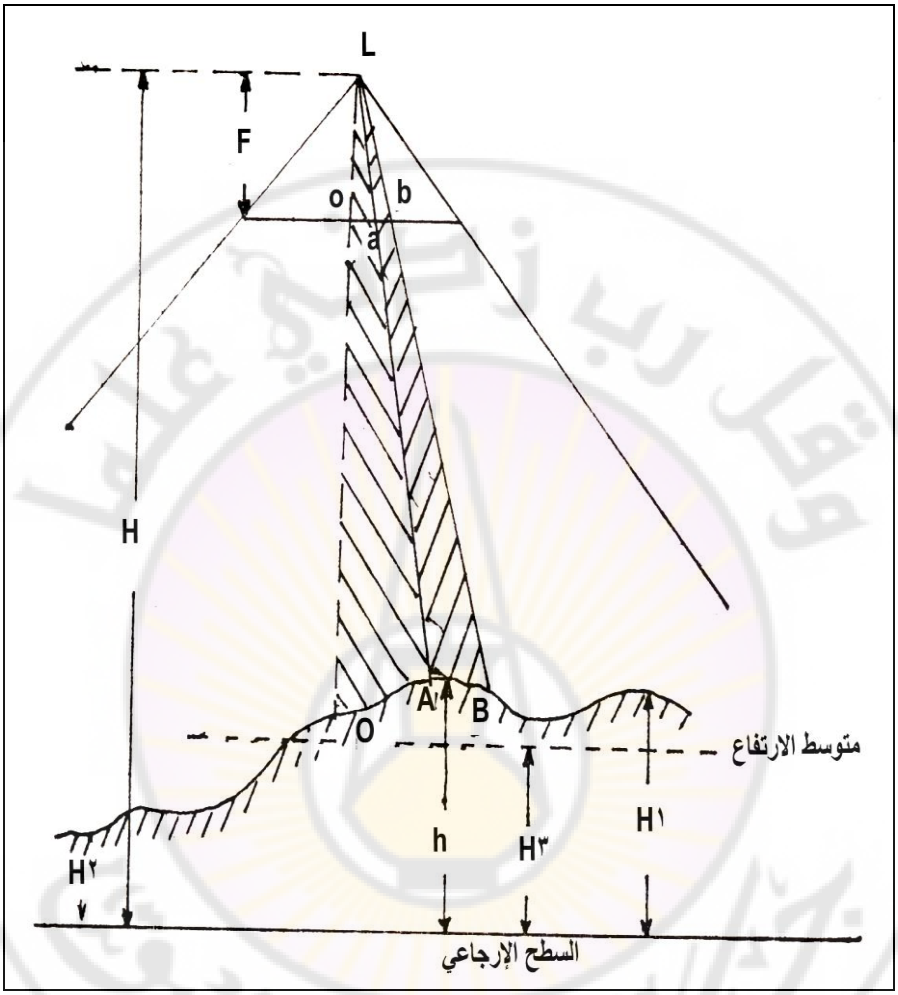
$$\text{المقياس} = \text{الجذر التربيعي} \frac{\text{المساحة على الصورة}}{\text{المساحة على الأرض}}$$

$$\text{المقياس} = \sqrt{\frac{65}{400000000}} = \frac{1}{2480}$$

الطريقة الخامسة: حساب المقياس على أرض مختلفة الارتفاعات:

نادراً ما تكون الأرض منبسطة ويتم التقاط الصور على أرض مختلفة الارتفاعات، ومن ثمّ يختلف المقياس في أجزاء الصورة من مكان إلى آخر. (انظر **الشكل 43**).

لو فرضنا أنّ آلة التصوير التقطت صورة من ارتفاع معين فوق أرض مضرسة فإن ارتفاع الطائرة فوق مستوى الإسناد (datum) يكون غالباً هو مستوى البحر. فإذا علمنا ارتفاع الطائرة (H) وارتفاع الأرض (h) عن مستوى سطح البحر يمكن تحديد Ĥ ارتفاع الطائرة فوق سطح الأرض وذلك من خلال H= H-h، من خلال الشكل نجد أن الصورة التقطت من نقطة هي النقطة (ل)، فإن التقاط OAB على الأرض تظهر على الفيلم السالب o´a´b´ وتظهر على الصورة الموجبة المطبوعة o a b وقد تم تمثيل الموجب والسالب على مسافة من البعد المحرقي في عدسة آلة التصوير. هذا يعني أن الصورة الموجبة تساوي الصورة السالبة. يمكن أخيراً الحصول على مقياس الصورة من خلال المثلثين o a l، O A L اللذين يمثلان المسافات على الأرض.



شكل (43): اختلاف المقياس على الصورة الجوية في مناطق مختلفة التضاريس (عن wolf 1974)

$$S = \frac{ao}{AO} = \frac{f}{H} = \frac{ab}{AB}$$

من تشابه المثلثين L A B . l a b

نجد أن: $\frac{ab}{AB} = \frac{la}{LA}$

أي إن المقياس عند النقطتين A وB يكون $\frac{ab}{AB} = \frac{la}{LA}$

وكذلك من تشابه المثلثين L O A، l o a . نجد أن: $\frac{la}{LA} = \frac{F}{H-h}$

أي إن المقياس عند النقطتين A . B هو:

أي إن: $S = \frac{F}{H-h}$

وهناك معادلة لحساب المقياس المتوسط هي: $S = \frac{F}{H - \left(\frac{h1+h2}{2}\right)}$

حيث إنّ h1 هو ارتفاع النقطة الأولى و h2 هو ارتفاع النقطة الثانية.

مثال1:

التقطت صورة جوية عمودية لمنطقة ذات تضاريس مختلفة بآلة تصوير بعدها المحرقي 120 ملم من ارتفاع قدره 3000 متر فوق سطح البحر. وكان متوسط ارتفاع الأرض هو 500 م عن سطح البحر. فما المقياس؟

$$s = \frac{F}{H-h} = \frac{0{,}120}{3000-500} = \frac{1}{20000}$$

وفي حالة التقاط الصور لمناطق مختلفة التضاريس نجد سلسلة من المقاييس حسب الاختلافات في ارتفاع الأرض.

مثال:2

التقطت صورة عمودية من ارتفاع قدره 5000م فوق سطح البحر، باستخدام آلة تصوير بعدها المحرقي 120ملم، وكان أعلى ارتفاع للتضاريس هو 3000 متر، وأقل ارتفاع هو 1500م.

في هذه الحالة يمكن الحصول على المقياس المتوسط والمقياس في كل منطقة.

أكبر مقياس = $\frac{0{,}12}{3000-5000} = \frac{0{,}12}{2000} = \frac{1}{17000}$ تقريباً

المقيـــــاس المتوســـــط = $\frac{0,12}{\frac{1500+3000}{2}-5000}$ = $\frac{0,12}{2250-5000}$ = $\frac{0,12}{2750}$

= $\frac{1}{23000}$ تقريباً

أصغر مقياس= $\frac{0,12}{1500-5000}$ = $\frac{0,12}{3500}$ = $\frac{1}{29000}$

غالباً ما يحتسب متوسط المقياس Average Scale للصورة كلها باستخدام متوسط ارتفاع الأرض التي تُصوّر، ويكون هذا المقياس صحيحاً لقياس المظاهر الموجودة ضمن الارتفاع المتوسط. بما أنّ ارتفاع الطائرة أساسي في عمليات التصوير المساحي، فيمكن حسابه بطرق أخرى أيضاً. على سبيل المثال إذا كان على الصورة خط معين معروف طوله أو ارتفاعه، فإنه يمكن من خلال هذا الطول، و البعد المحرقي حساب ارتفاع الطائرة .

مثال 3:

بلغ طول سور 200 متر على الأرض وعلى صورة جوية عمودية ملتقطة بوساطة آلة تصوير بعدها المحرقي 152 ملم ظهر هذا السور بطول 20 ملم، وبمقارنة خريطة طبوغرافية للمنطقة نفسها وجد أن ارتفاع السور عن سطح البحر هو 1200متر فيمكن حساب ارتفاع الطائرة من خلال حساب المقياس أولاً:

المقياس $S = \frac{f}{H-h}$ ومن ثمّ $h + \frac{f}{S} = \text{H}$

أولاً :لابد من حساب المقياس من خلال المعادلة = $\frac{\text{المسافة على الصورة}}{\text{المسافة على الأرض}}$

أي المقياس = $\frac{2}{100 \times 200} = \frac{1}{10000}$

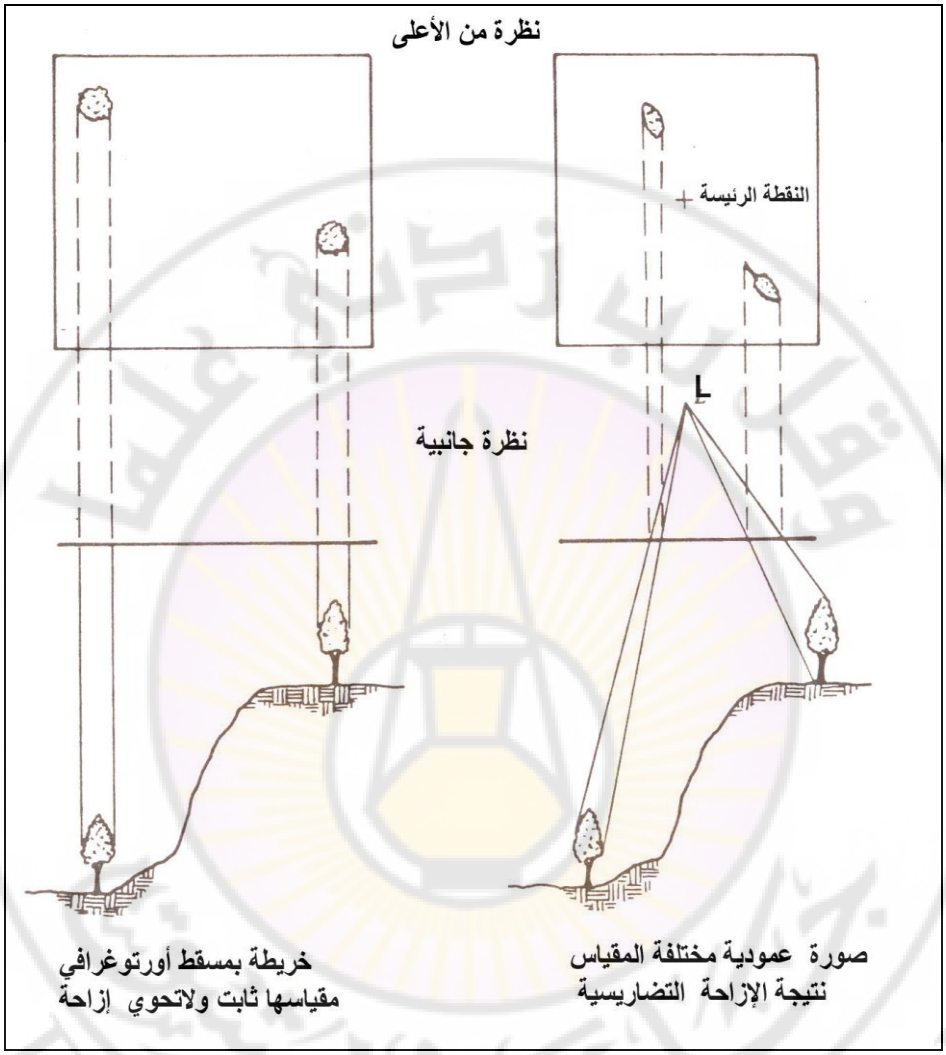
وعنـــــد تطبيـــــق المعادلـــــة الســـــابقة $H = h + \frac{f}{S}$ يكـــــون الارتفـــــاع

$$\frac{0{,}152\text{م}}{\frac{1}{10000}} + 1200\text{م} = 2720\text{م}$$

ويؤدي تغير مقياس الصورة إلى تشوه هندسي geometric distortion حيث إنّ الصورة الملتقطة التي تبين مواقع ذات ارتفاعات مختلفة على الأرض تنزاح عن مواقعها الحقيقية، بينما على الخريطة تظهر في مواقعها الحقيقية (انظر **الشكل 44**)، لأن الخريطة هي إسقاط عمودي لسطح الأرض بمقياس معين تختلف فيها خطوط الإسقاط حسب نوع المسقط المستخدم، فعند استخدام المسقط الأورتوغرافي orthographic تكون خطوط الإسقاط متوازية، ذلك لأنها تنجم عن إسقاط شاقولي للأشعة من نقاط على سطح الأرض على سطح مستوٍ، بينما الصورة تنتج عن إسقاط أشعة تتجمع في نقطة واحدة ضمن عدسة آلة التصوير، لذلك فإن أي تغير في ارتفاع الأرض يؤدي إلى تغير المقياس وانزياح مواقع المظاهر.

9.3– تغطية الأرض بالصور الجوية والتخطيط لعملية الطيران:

تتعلق عملية تغطية الأرض بالصور الجوية بمجموعة من العوامل منها حجم آلة التصوير، لأن الصورة التي تكون أبعادها 23×23 سم على فيلم أبعاده 24 سم تغطي مساحة أكبر بكثير من الصورة التي تكون أبعادها 6×6 سم على فيلم أبعاده 7سم. ولكن المساحة التي تغطيها الصورة من الأرض مهما كان حجم آلة التصوير يرتبط بالبعد المحرقي وارتفاع الطائرة فوق الأرض، وهو يتناسب عكساً مع البعد المحرقي، لذلك فإن الصورة الملتقطة بعدسات بعدها المحرقي أقل تغطي مساحات أكبر ومن ثمّ مقياسها أصغر مما تغطيه الصور التي تُلتقط ببعد محرقي أكبر، كما أن مقياس الصورة يتناسب عكساً مع ارتفاع الطائرة.



شكل (44): الإزاحة التضاريسية ومقارنة بين المظاهر الأرضية عند إسقاطها على الخريطة والصورة الجوية

(عن Thomas .M.Lillesand . K.Kiefer 1987)

إن الحاجة إلى صور جديدة لأية منطقة يتطلب وضع خطة لعملية الطيران ووضع خطة الطيران يحتاج إلى وقت وتفكير طويلين وتوفر المال الكافي لذلك. ولابد لواضع الخطة أن يأخذ بحسبانه الظروف الجوية في البداية ويدرس حالة الطقس، فعليه أن يعرف

الأيام المناسبة لعملية التصوير. **يتم التصوير عادة بين الساعة العاشرة صباحاً والثانية بعد الظهر**. ذلك لأن الإضاءة تكون جيدة وتأثير الظلال قليلاً.

بالإضافة إلى ذلك يجب على واضع الخطة دراسة الأسس الهندسية لعملية الطيران وهي:

أ- البعد المحرقي لآلة التصوير المستخدمة في التصوير.

ب- مقياس لقطة آلة التصوير.

ت- مقياس الصورة المطلوب.

ث- مساحة المنطقة المراد تصويرها.

ج- ارتفاع التضاريس في المنطقة.

ح- التداخل الأمامي والجانبي للصور المطلوب

خ- سرعة الطائرة.

واستناداً إلى دراسة هذه الأسس يستطيع واضع الخطة أن يضع حسابات دقيقة متضمنة ما يلي:

1- ارتفاع الطيران فوق مستوى سطح الإسناد الذي تُلتقط الصور فيه.

2- تحديد مواقع خطوط الطيران وعددها واتجاهها.

3- الزمن اللازم لكل صورة.

4- عدد الصور في كل خط طيران.

5- العدد الكلي للصور.

ثم تُرسم الخطة وتُسلّم للمصورين على متن الطائرة.

ويستخدم القانون الآتي لحساب عدد الصور المراد التقاطها للمنطقة المراد تصويرها

$$N = \frac{D}{2d \times 2e(1-R)(1-R2)}$$

حيث N- عدد الصور المطلوبة.

D- المساحة المراد تصويرها.

d- طول ضلع الصورة المطلوبة؟ (مربع طول ضلع الصورة)

e- مقلوب المقياس للصورة المطلوبة.(مربع مقلوب الصورة)

R- مقدار التغطية الأمامية المطلوبة.

R2- مقدار التغطية الجانبية.

وفي حال كان المطلوب الحصول على عدد من الصور بدون تغطية جانبية يستخدم القانون التالي:

$$N = \frac{D}{d \times e2\,(1-R)}$$

أما في حال كان الهدف الحصول على عدد من الصور بدون تغطية أمامية فتصبح كما يلي:

$$N = \frac{D}{2d \times e2(1-R2)}$$

أما في حال التقاط الصور دون تغطية فيكون عدد الصور هو $N = \frac{D}{d2 \times e2}$

مثال1:

ضع خطة طيران لتصوير منطقة طولها 20 كم باتجاه شمال جنوب بعرض 10 كم اتجاه شرق غرب، باستخدام آلة تصوير بعدها المحرقي 155 ملم ومقياس الفيلم 23 سم (مقياس اللقطة) ومقياس الصورة المطلوب $\frac{1}{25000}$ بتداخل أمامي 60% وجانبي 30% وارتفاع التضاريس في الأرض المطلوب تصويرها هو 300م فوق مستوى الإسناد بفرض سرعة الطائرة 200/كم في الساعة.

لوضع الخطة يجب معرفة اتجاه التصوير أولاً. بحيث يجب تقليل عدد خطوط الطيران ما أمكن :

أ- لتقليل عدد الخطوط يجب أن تتم عملية التصوير باتجاه شمال جنوب.

ب- حساب ارتفاع الطائرة فوق سطح الأرض المصورة

$$h = \frac{F}{S} = \frac{155}{\frac{1}{25000}} = 15{,}5 \times 25000 = 3875$$

ومن ثمّ فإن ارتفاع الطائرة فوق مستوى سطح البحر (h) هو $3875 + 300 = 4175$ متراً.

2. المساحة التي تغطيها الصورة (مقاس لقطة الفيلم) استناداً إلى أبعاد الفيلم والتي يرمز لها (CO)

المساحة (CO) = $\frac{23}{\frac{1}{25000}} = 23 \times 25000 = 5750$ م على كل جانب

3. حساب القاعدة الجوية (وهي المسافة بين مركزي الصورتين المتتاليتين)

القاعدة الجوية = النسبة الصافية × طول الصورة على الأرض

$5750 \times 0{,}40 = 2300$ متر

الزمن اللازم لكل صورة بفرض سرعة الطائرة $200 = \frac{\text{القاعدة الجوية} \times 3600 \text{ ثا}}{\text{السرعة} \times 1000}$

$41{,}4 = \frac{3600}{1000} \times \frac{2300}{200}$ ثانية

أي كل صورة تحتاج إلى زمن قدره 41 ثانية لالتقاطها ومن ثمّ يجب ضبط المغلاق على رقم صحيح من الثواني .

عدد الصور في كل خط طيران على طول 20 كم = $\frac{\text{طول المنطقة}}{\text{القاعدة الجوية}}$

عدد الصور $\frac{1000 \times 20}{2300} = 8{,}6 = 1 + 9{,}6 = 10$ [5]

لحساب عدد خطوط الطيران يجب حساب المسافة الصافية جانبياً وهي 70%

[5] تم تحويل من كم إلى متر، ثم تمت إضافة صورة إلى كل خط.

المسافة الصافية جانبياً = مقدار اللقطة الواحدة ×نسبة المسافة الصافية

$0.70 \times 5750 = 4025$ متراً (المسافة بين كل خطي طيران متتاليين)

$$\text{عدد خطوط الطيران} = \frac{\text{عرض المنطقة}}{\text{المسافة الصافية عرضياً}}$$

عدد خطوط الطيران= $1 + \frac{1000 \times 10}{4025} = 1 + 2,4 = 4$ خطوط ومن ثمّ فإن عدد الصور الكلي = عدد الصور في كل خط × عدد الخطوط

العدد الكلي = $10 \times 4 = 40$ صورة.

مثال2:

احسب عدد الصور اللازمة لتغطية منطقة طولها 70 كم وعرضها 60 كم إذا كان مقياس الصور 1: 50000 والبعد المحرقي لآلة التصوير 150 ملم، والتغطية الأمامية المطلوبة 60 % والجانبية 20 % علماً أن أبعاد الفيلم المستخدم هي 23×23 سم

لابد أولاً من حساب المسافة الصافية التي تغطيها الصورة الواحدة بالاتجاه الطولي =

(100 – 60) % = 40%

وإن المسافة الصافية على الصورة من خلال العلاقة الآتية:

$$\frac{\text{طول الصورة} \times \text{النسبة الصافية}}{100} = \frac{40 \times 23}{100} = 9,2 \text{ سم}$$

المسافة الصافية على الأرض = $9,2 \times 50000 = 4600 = 4,6$ كم ذلك لأن مقياس الصورة المطلوب هو: $\frac{1}{50000}$

$$\text{عدد الصور في كل خط} = \frac{\text{طول المنطقة المراد تصويرها}}{\text{المسافة الصافية على الأرض}}$$

عدد الصور = $\frac{70}{4,6} = 15,2 + 1 = 17$ صورة، ذلك لأن آلة التصوير تلتقط صورة إضافية في كل خط.

لحساب عدد خطوط الطيران، لابد من حساب المسافة الصافية الجانبية (أي في الاتجاه العرضي) = $(100 - 20)\% = 80\%$ ومن ثمّ فإن:

المسافة الصافية على الصورة بالاتجاه العرضي = $\frac{23 \times 80}{100} = 18,4$ سم

وتكون المسافة الصافية على الأرض = $18,4 \times 50000 = 9,2$ كم

عدد خطوط الطيران = $\frac{\text{عرض المنطقة}}{\text{المسافة الصافية}}$

و بتطبيق العلاقة:

$\frac{60}{9.2} = 6.5 + 1 = 8$ خطوط[6]

عدد الصور الكلي اللازم لتغطية المنطقة = $17 \times 8 = 136$ صورة.

10.3 – التشويه الناتج في الصور الجوية:

تتعرض الصور الجوية للتشويه، ومن ثمّ يصبح المقياس غير متجانس في أنحاء الصورة كلها ولاسيما في الصور غير العمودية ويمكن حصر أسباب هذا التشويه فيما يلي:

1- **الأسباب التقنية وتقسم إلى:**

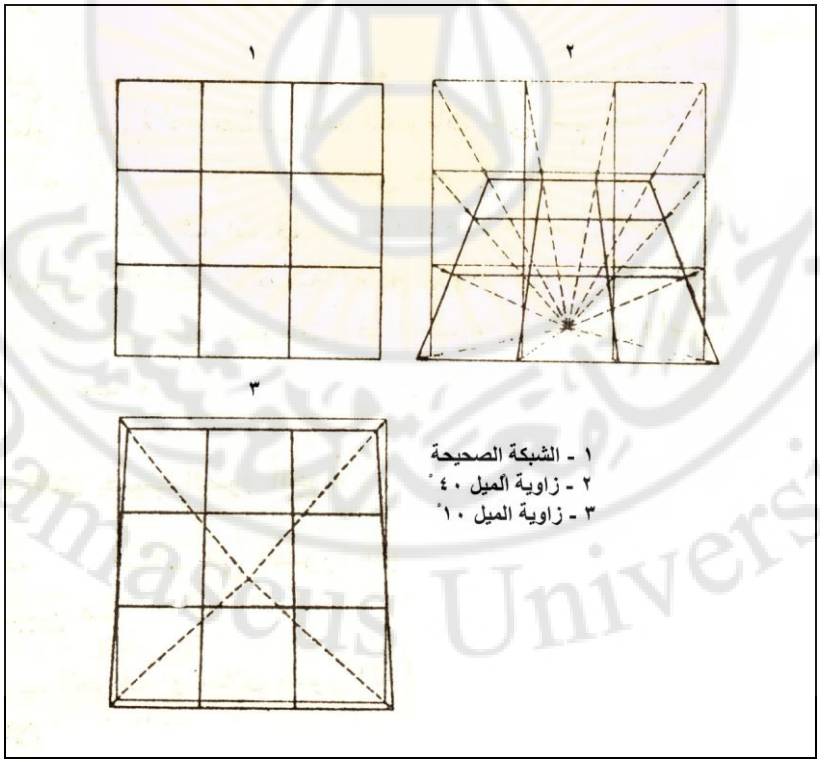
- **التشوش الذي يتم في المنصة** Platform Perturpations : هو اهتزازات تصيب المنصة الحاملة لجهاز التصوير الجوي خلال عملية التصوير وعلى طول خط الطيران وتجعل خطوط الطيران غير متوازنة تماماً ومن ثمّ تكون الصور الجوية

[6] يُضاف صورة إلى الناتج، كما يجب ألّا يكون هناك كسوراً في أعداد الصور أو الخطوط

على طول خط الطيران مختلفة في تغطيتها الجانبية وهذا ينتج عنه صعوبة في الحصول على الرؤية المجسمة للمظاهر الأرضية المشتركة بين الصور الجوية. إضافة إلى صعوبة صنع موزاييك جوي.

- ميلان المحور الأساسي لآلة التصوير عن الوضع العمودي وهذا يدعى **الإزاحة الميلانية** Tilt Displacement التي تحدث نتيجة تغير شكل المظاهر الأرضية المصورة نتيجة اختلاف النظر إليها.

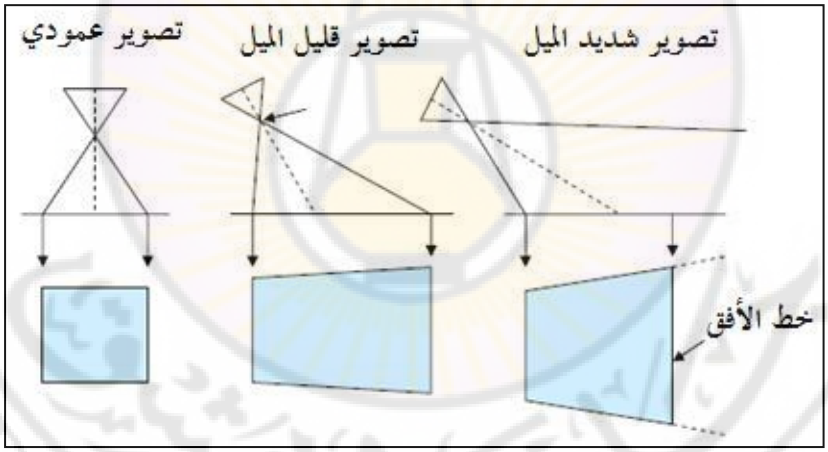
على الرغم من التجهيزات المستخدمة للحفاظ على الوضع العمودي للمحور الأساسي لآلة التصوير، إلا أن الاهتزازات الناجمة عن بعض الظروف الجوية والتقنية تجعله يميل عن وضعه العمودي ويزداد التشويه كلما ازداد الميل (انظر **الأشكال 45 و 46 و47**).



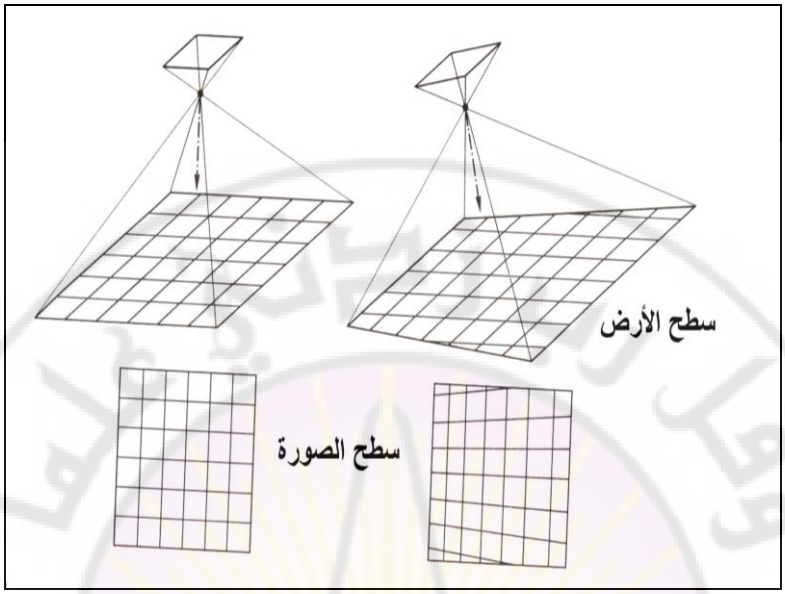
شكل (45): الإزاحة الميلانية في الصور الجوية حسب زاوية النظر

إذا نظرنا إلى الشكل أعلاه نجد أنه عندما تكون العدسة شبه عمودية تكون الشبكة صحيحة كما في هو موضح في **الشكل (45-1)**، وعندما تكون زاوية النظر أكثر من 40 درجة تكون الإزاحة شديدة وتصبح الشبكة كما هو موضح في **الشكل (45-2)**، وعندما تصبح زاوية النظر أقل من 10 تكون الإزاحة قليلة وتصبح الشبكة كما هي في **الشكل (45-3)**.

نتيجة لذلك يمكننا القول إن مقدار الإزاحة يتعلق بزاوية الميلان وكلما كبرت زاوية النظر ازدادت الإزاحة وكلما صغرت زاوية الميلان قلّت الإزاحة، ومن ثمّ فالمظاهر الموجودة على الصور الجوية المائلة ستكون أكثر انزياحاً من المظاهر نفسها الموجودة على الصور العمودية ومن ثمّ ستكون مختلفة فيما بينها.



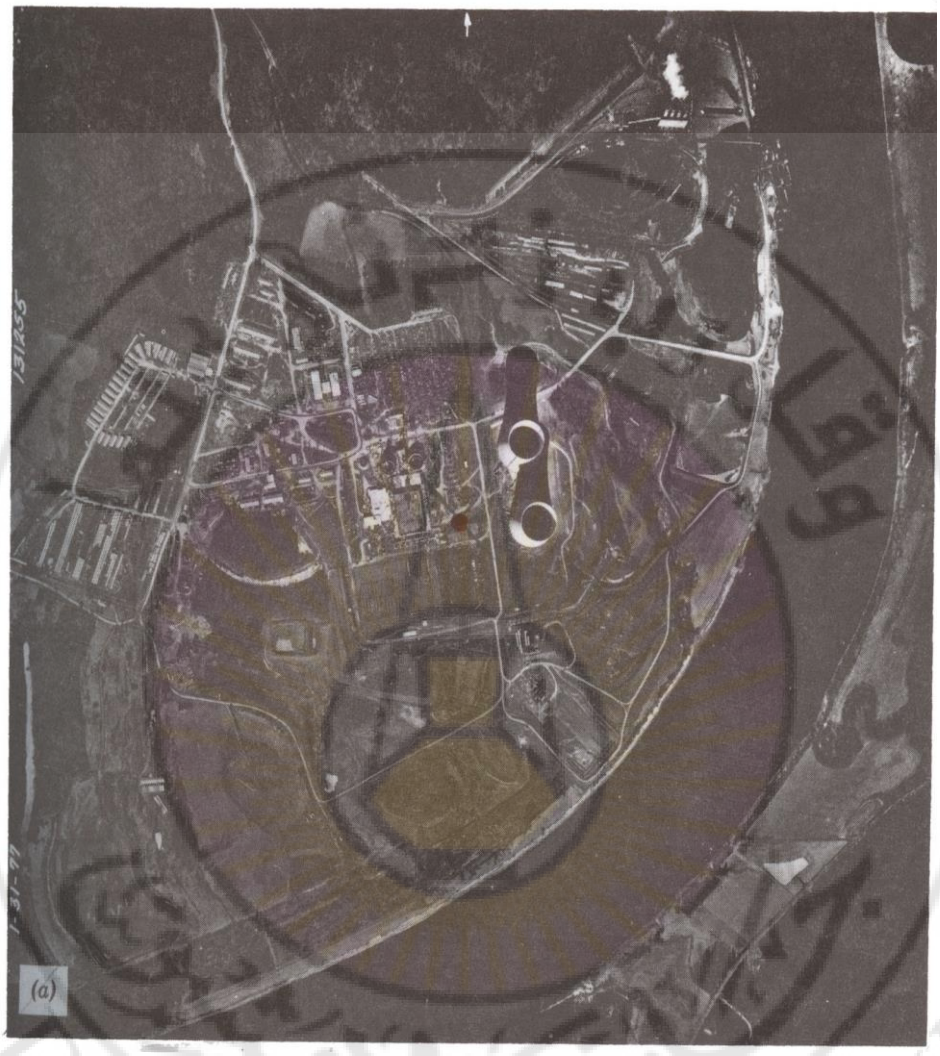
شكل (46): الإزاحة الميلانية وشكل المساحة المصورة في التصوير العمودي والمائل



شكل (47): الإزاحة الميلانية وشكل شبكة الإحداثيات في حال التصوير العمودي والتصوير المائل

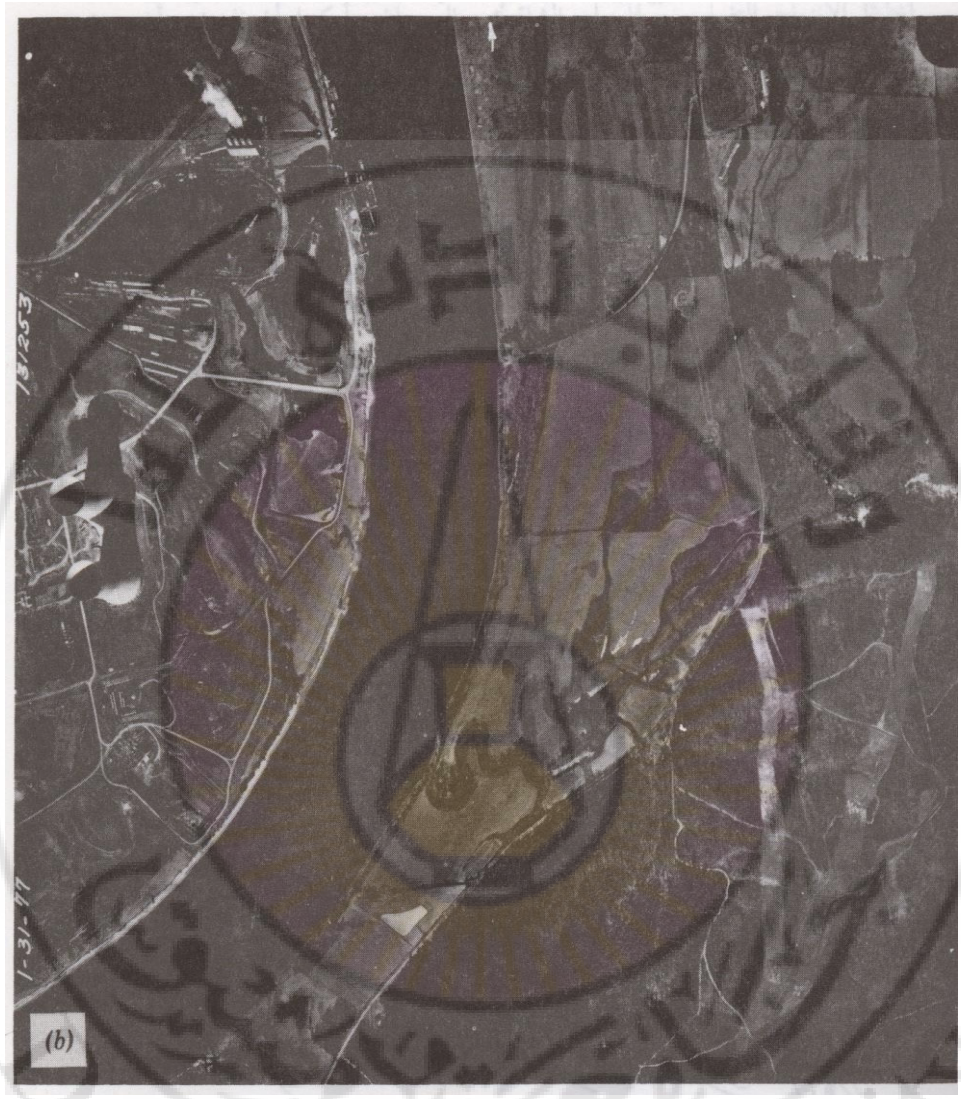
– التشويه الناتج عن استخدام المواسح الدوارة scannar ذات المرايا عندما يقوم الماسح بمسح الشريط في الأرض المراد تصويره يحدث تشويه في الصور الجوية ينجم عن دوران المرايا بسرعة زاوية ثابتة، ومن ثمّ يحدث اختلاف في مسح المظاهر الأرضية في وسط الشريط الأرضي الممسوح عما هو عليه في الأطراف ومن ثمّ تختلف قدرة التمييز في الصور الجوية بين الوسط والأطراف.

يمكن القول إن الصور الجوية الملتقطة بآلات تصوير فوتوغرافية تحوي تشويهاً أقل مما هو عليه في الصور الملتقطة بالماسح.(انظر **الأشكال 48 و49 و50**).



شكل (48): صورة عمودية لموقع Watts Bar النووي قرب Kingston ملتقطة في 31 كانون الثاني 1977 حيث يظهر برجا التبريد قرب النقطة الرئيسة ومن ثمّ فالانزياح التضاريسي قليل

Damascus University



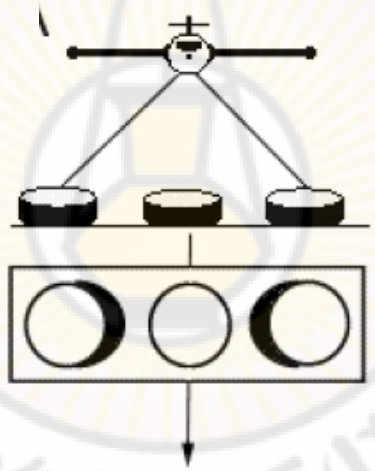
شكل (49): صورة مائلة للموقع السابق نفسه ولكن الانزياح التضاريسي واضح في هذه الصورة بسبب ابتعاد البرجين عن النقطة الرئيسة

Damascus University

شكل (50): تأثير موقع الظاهرة من النقطة الرئيسة في الإزاحة التضاريسية في الصورة العمودية.
الأبنية في A تنزاح باتجاه المركز وفي B باتجاه الأطراف

2- الأسباب الطبيعية

تؤدي الأسباب الطبيعة مثل ارتفاع مظاهر سطح الأرض إلى حدوث ما يدعى الإزاحة **التضاريسية على الصور الجوية** [7] Relief Displacement حيث تظهر المظاهر الأرضية الشاقولية الأكثر ارتفاعاً منزاحة بعيداً عن موقعها على الصور قطرياً نحو الخارج عن النقطة الرئيسة. والمظاهر الأقل ارتفاعاً تبدو منزاحة باتجاه مركز الصورة لذلك عندما يتم تصوير ظاهرة بشكل عمودي (شاقولي) يؤدي الانزياح التضاريسي إلى ابتعاد قمة الظاهرة عن مركز الصورة أكثر من قاعدته وينجم عن ذلك ظهور المظاهر الشاقولية مائلة عن مركز الصورة كما في **الشكل (51)**.



شكل (51): أثر الانزياح التضاريسي في ابتعاد قمة الظاهرة المرتفعة عن قاعدتها

وبما أن سطح الأرض نادراً ما يكون خالياً من التضاريس فلذا لا تخلو أية صورة جوية من الإزاحة التضاريسية. يمكن حساب مقدار الإزاحة التضاريسية من خلال **الشكل (52)**.

[7] الإزاحة التضاريسية تعني انفصال قمة الظاهرة عن قاعدتها في اتجاه يمر من مركز الصورة بحيث تكون النقطة المرتفعة في اتجاه بعيد عن مركز الصورة والنقطة المنخفضة في اتجاه مركز الصورة.

بفرض النقطة A هي قمة جبل، والنقطة B هي قاعدته فتظهر النقطة A في a´ على الصورة، بينما تظهر النقطة B في b´ على الصورة. في حالة الإسقاط العمودي يجب أن تنطبق النقطة A على النقطة B لكن يبدو هذا على الصورة بشكل مختلف حيث تم إسقاط النقطة A في مكان a´ والنقطة B في مكان آخر b´ أي إن هناك انزياحاً بين قمة الجبل وقاعدته، ومقدار الإزاحة الناتج عن فرق الارتفاع بين النقطتين A.B هو الفرق بين النقطتين a´، b´ على الصورة وهو يساوي (Δr) فمن تشابه المثلثين "a O B و a´ o b´ نجد أن

$$\frac{ob'}{OB} = \frac{\Delta r}{\Delta R}$$

ومن تشابه المثلثين O N B، oh ´b نجد أن

$$\frac{ob'}{OB} = \frac{f}{z}$$

حيث Z: متوسط ارتفاع الطائرة

ومن ثمّ فإن $\frac{\Delta r}{\Delta R} = \frac{F}{Y}$ (1) ومن تشابه المثلثين oh ´a، ON a"

نجد أن $\frac{r}{R} = \frac{f}{z}$ (2)

ومن العلاقتين (1) و (2) نجد $\frac{\Delta r}{\Delta R} = \frac{r}{R} = \frac{F}{z}$ (3)

ومن تشابه المثلثين a" AB، a" N O نجد أن $\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta H}{H}$ (4)

ومن العلاقة (3) نجد أن $\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta R}{R}$ (5)

ومن العلاقتين (4) و(5) نجد $\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta H}{H}$

ومن ثمّ فإن $\Delta r = r. \frac{\Delta H}{H}$

حيث:

Δr : مقدار الإزاحة التضاريسية

r: المسافة بين النقطة الأساسية والظاهرة المزاحة على الصورة (طول الظاهرة)

ΔH : ارتفاع الظاهرة المزاحة (على الطبيعة) عن سطح الأرض

H: ارتفاع الطائرة

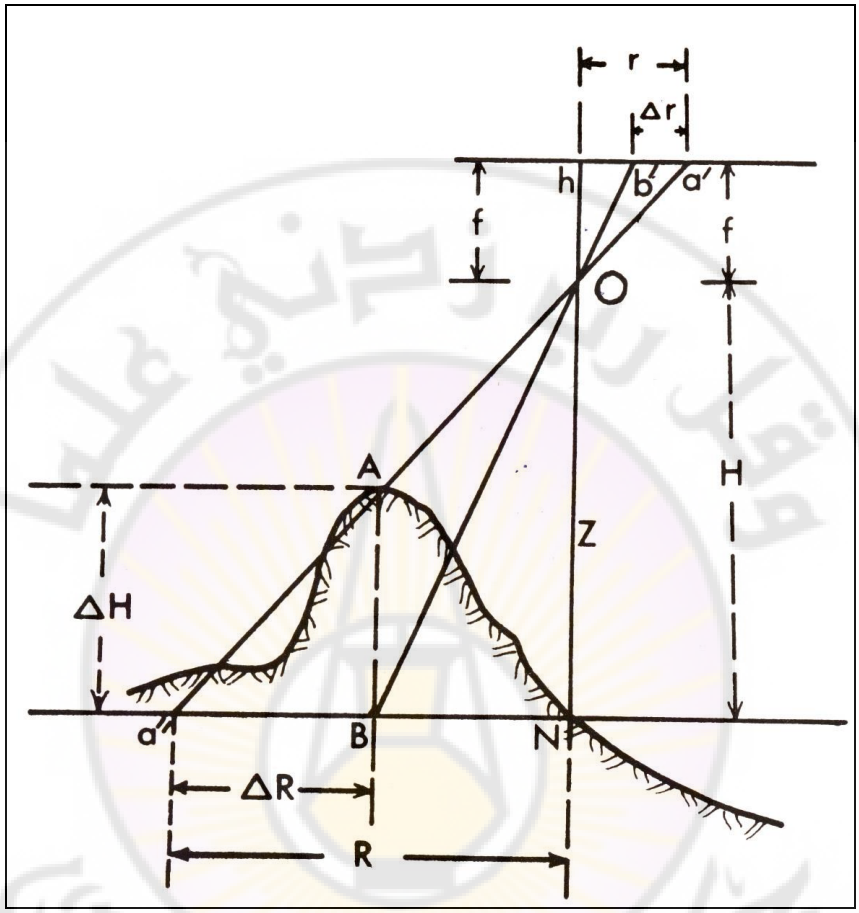
ويمكن الاستفادة من العلاقة السابقة ($\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta H}{H}$) في حساب ارتفاع الظاهرة المزاحة على صورة مفردة بحيث تصبح المعادلة كما يلي: $\frac{\Delta r}{r} \times H = \Delta H$

عند قياس ارتفاع الظواهر المزاحة على الصورة العمودية يجب أن نأخذ بالحسبان ما يلي:

- النقطة الأساسية في الصورة هي نقطة النظير Nadir Point
- معرفة ارتفاع الطائرة في أثناء التصوير.
- وضوح قمة الظاهرة المزاحة وقاعدتها على الصورة.
- أن يكون قياس مقدار الإزاحة ممكناً.
- يُراعى أن تكون وحدة قياس الظاهرة المزاحة وطول المسافة بين النقطة الأساسية وقمة الظاهرة المزاحة واحدة. أما ارتفاع الطائرة فيُعبر عنه بالأمتار.

وهناك عوامل عديدة تؤثر في الإزاحة التضاريسية نوجزها بما يلي:

- ارتفاع الظاهرة: حيث تزداد الإزاحة كلما زاد ارتفاع الظاهرة فوق سطح الأرض وتقل مع قلة ارتفاعها.
- بعد الظاهرة أو قربها من مركز الظاهرة: تزداد الإزاحة التضاريسية كلما ابتعدت الظاهرة عن مركز الصورة فتصبح في حدودها العظمى على أطراف الصورة وتقل تدريجياً بالاتجاه نحو المركز حيث تنعدم الإزاحة تماماً فيه.
- ارتفاع الطائرة: كلما ازداد ارتفاع الطائرة ازدادت الإزاحة والعكس.



شكل (52): كيفية حساب الإزاحة التضاريسية (عن Alders 1973)

مثال 1:

احسب الإزاحة التضاريسية على صورة جوية عمودية ملتقطة من ارتفاع 1000 متر، علماً أن قمة ظاهرة ما ظهرت على بعد 5 سم من مركز الصورة، وقد بلغ ارتفاع الظاهرة على الطبيعة 60 متراً.

مقدار الإزاحة التضاريسية يتم من خلال المعادلة السابقة = $\Delta r = r \times \frac{\Delta H}{H}$

أي الإزاحة = $\frac{100 \times 5 \times 60}{100 \times 1000} = 0{,}3$ سم = 3 ملم

كما ويمكن حساب ارتفاع المظاهر عن سطح الأرض من خلال طول ظلها بدلالة الإزاحة التضاريسية.

مثال2:

إذا أردنا قياس ارتفاع خزان ماء على الصورة الجوية بفرض ارتفاع الطائرة 1000م، فيمكن إيجاد ارتفاع الخزان في الصورة من خلال قياس طول الخزان المزاح بالمسطرة فنجد مثلاً أنه يعادل 5 سم وطول الخزان 100 ملم (المسافة بين النقطة الأساسية وقمة الخزان على الصورة تمثل الإزاحة التضاريسية): ومن ثمّ فإن حساب ارتفاع الخزان يمكن من خلال المعادلة الآتية: $\Delta H = H \times \frac{\Delta r}{r}$ =

$$50 \text{ متراً} = 1000 \times \frac{5}{100}$$

مثال3:

احسب ارتفاع بناء إذا كان ارتفاع الطائرة في أثناء التصوير 1200متر وطول البناء على الصورة 15 ملم والمسافة بين النقطة الأساسية وقمة الخزان 110 ملم ثم احسب ارتفاع الخزان إذا كانت المسافة بين النقطة الأساسية وقمة الخزان 127 ملم وارتفاع الخزان على الصورة 9,5 ملم.

ارتفاع البناء = $\Delta H = H \times \frac{\Delta r}{r}$ ومن ثمّ $\Delta H = 1200 \times \frac{15}{110} = 163{,}6$ متر

ارتفاع الخزان = $1200 \times \frac{9}{127} = 89{,}7$ متر

مثال 4:

بلغت المسافة بين قمة ظاهرة وقاعدتها على الصورة 3 ملم ومقياس الصورة 25000/1، وبلغ البعد المحرقي لآلة التصوير 20 سم، أما المسافة بين قمة الظاهرة ومركز الصورة فقد بلغت 6 سم. احسب ارتفاع الظاهرة على الطبيعة.

لا بد من حساب ارتفاع الطائرة أولاً وذلك من خلال المقياس والبعد المحرقي $S = \frac{F}{H}$

ومن ثمّ $\frac{1}{25000} = \frac{20}{H}$ ومن ثمّ فإن: $H = 20 \times 250000 = 500000$ سم

أي 5000 متراً

ارتفاع الظاهرة= $5000 \times \frac{0,3}{6cm} = 250$ متراً

11.3– الرؤية المجسمة Stereoscopic vision:

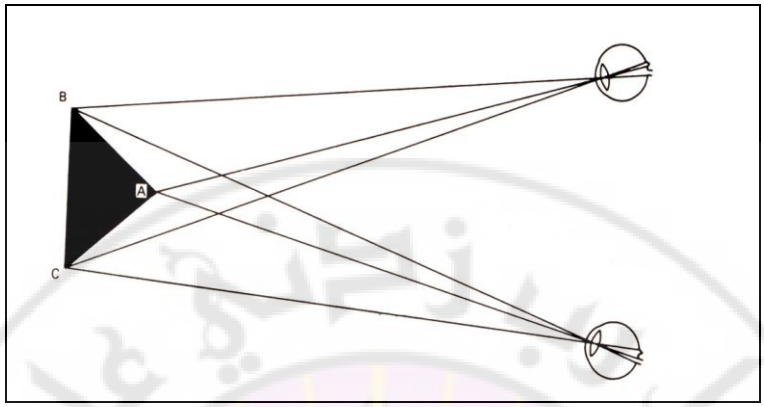
يقصد بالرؤية المجسمة الانطباع الذهني للأبعاد الثلاثة لسطح الأرض، ويحدث من وضع صورتين متتاليتين تحويان تداخلاً أمامياً (انظر **الشكل 53**).

شكل (53): زوج صور جوية متراكبة لتحقيق الرؤية المجسمة

1.11.3 طرق الرؤية المجسمة:

توجد طرق عدة للرؤية المجسمة تتفق كلها في إمكانية الحصول على صورة مجسمة للمعالم الظاهرة على صورتين جويتين، وهذه الطرق هي:

أ– **العين المجردة**: يتم وضع محور العين بشكل متوازٍ قدر الإمكان وجعل المطابقة تتم على بعد مناسب ورؤية كل صورة بالعين المقابلة لها وهي عملية تحتاج إلى تمرين طويل.(انظر **الشكل 54**).

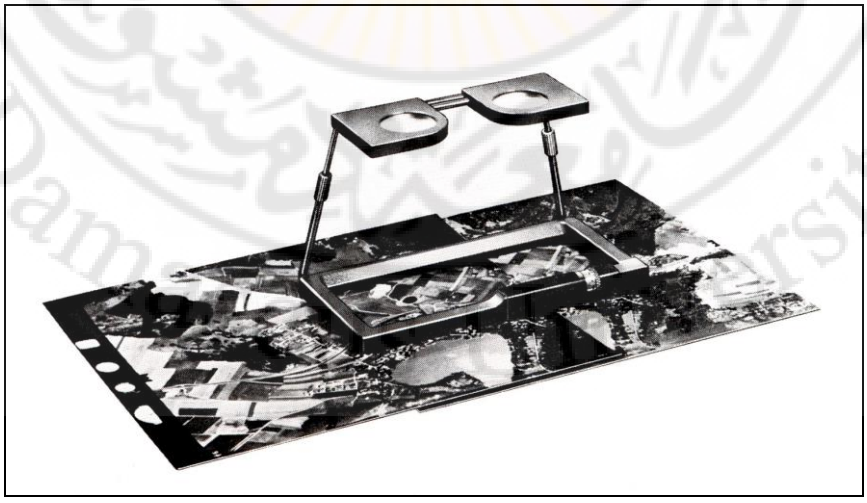


شكل (54): كيفية الرؤية المجسمة

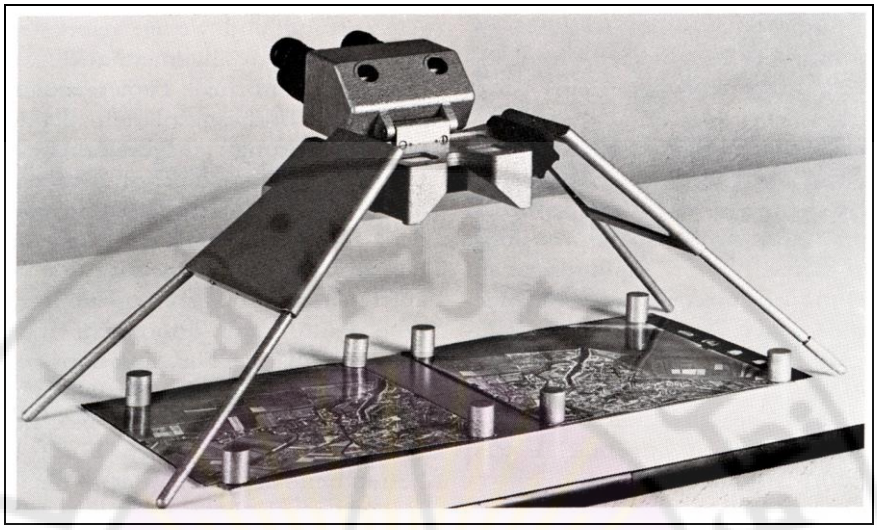
ب- **أجهزة الستيريوسكوب:** تستخدم عدسات مجمعة تجعل رؤية كل من الصورتين بالعين المقابلة لها أمراً مكناً. وهناك أنواع عدة لهذه الأجهزة:

الستيريوسكوب الجيبي Pocket stereoscope وهو أبسط أنواع أجهزة الرؤية المجسمة ويستعمل عادة في المسح الحقلي لمنطقة محدودة.

بينما يتم استخدام أنواعٍ أخرى أكثر تعقيداً في عملية تحليل الصور الجوية وإجراء عمليات القياس عليها **كالستيريوسكوب ذي المرايا العاكسة** انظر **الشكلين (55 و56)**.



شكل (55): الستيريوسكوب الجيبي من شركة كارل زايس



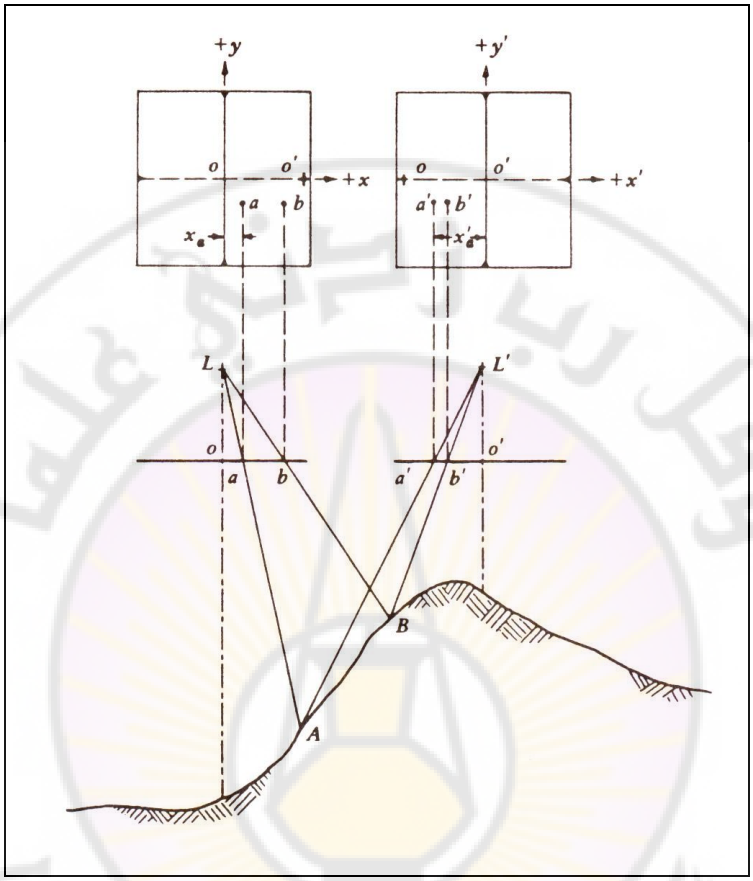
شكل (56): ستيريوسكوب ذو مرايا يسمح بالتكبير 6 مرات

2.11.3 التجسيم الناتج عن اختلاف موقع التصوير Stereoscopic Parallax:

هو المسافة الناتجة عن اختلاف موقع نقطة مثل A على صورتين متتاليتين نتيجة لتغير موقع الطائرة وآلة التصوير في أثناء التقاط الصور.

يبين **الشكل (57)** تغير المنظر على الصورة العمودية المتراكبة الملتقطة فوق منطقة مختلفة الارتفاعات. فموقع النقطتين A B يتغير مع موقع الرؤية (موقع التقاط الصورة) من الناحية النظرية يجب أن يتفق اتجاه الطيران مع محور الإسناد بشكل كامل ولكن عملياً يحدث تغير في اتجاه الطائرة وينحرف محور الطيران عن محور الإسناد ولكن يمكن إيجاد المحور الصحيح لخط الطيران عندما تُحدّد مواقع نقاط المركز في الصور السابقة واللاحقة (أي النقاط المتقابلة الرئيسة)Conjugate- Principal Points[8].

[8] Thomas M. Lillesand , R Kieffer :Remote sensing and image interpretation. John - Willy & Sons 1987



شكل (57): التجسيم الناتج عن اختلاف موقع النظر (عن Lillesand . Kiffer 1987)

هـذا الاختلاف أو التغير يُمكّـن مـن الرؤيـة المجسـمة للمنطقـة. ويسـتخدم مفهـوم التجسيم النـاتج عن اختلاف موقع النظر في قياس ارتفاع أية نقطة. والخط الذي يصل بين النقاط الرئيسة والنقاط المتقابلة يحدد محور الطيران (انظر **الشكل 58**).

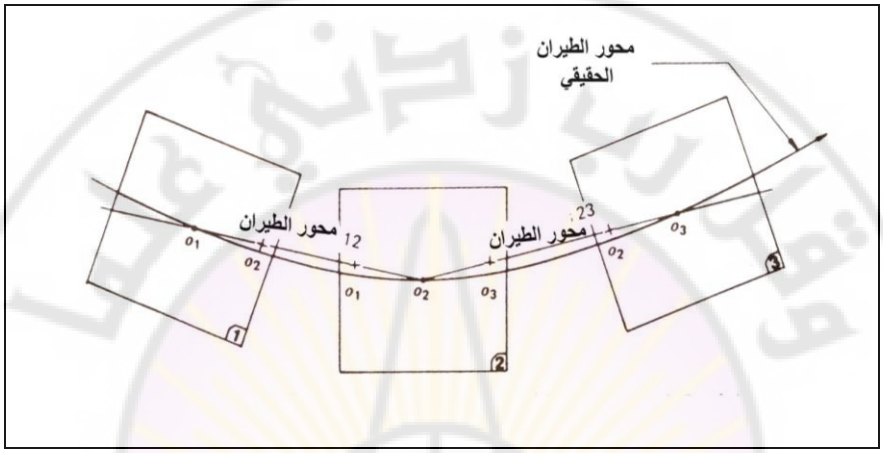
يحدد خط الطيران لأي زوج من الصور إحداثيات المحور X للصورة التي تستخدم في قياس المنظر أما y فهي الخطوط التي ترسم على شكل أعمدة على خط الطيران وتمر مـن النقطـة الأساسية لكـل صـورة ويـتم التعبـير عـن تغير المنظـر لأيـة نقطـة مـن خـلال إحداثيات خط الطيران ومن ثمّ فإن $p = x' - x''$ حيث:

p– تغير منظر النقطة

x'– إحداثيي النقطة على الصورة x' على الصورة اليسرى للزوج المجسم.

x'' – إحداثيي النقطة على الصورة x'' على الصورة اليمنى.

ويكون x لكل صورة موجباً إذا كان على يمين النقطة الرئيسة.



شكل (58): كيفية تحديد محاور خط الطيران لأزواج مجسمة من الصور المتتالية على طول خط الطيران

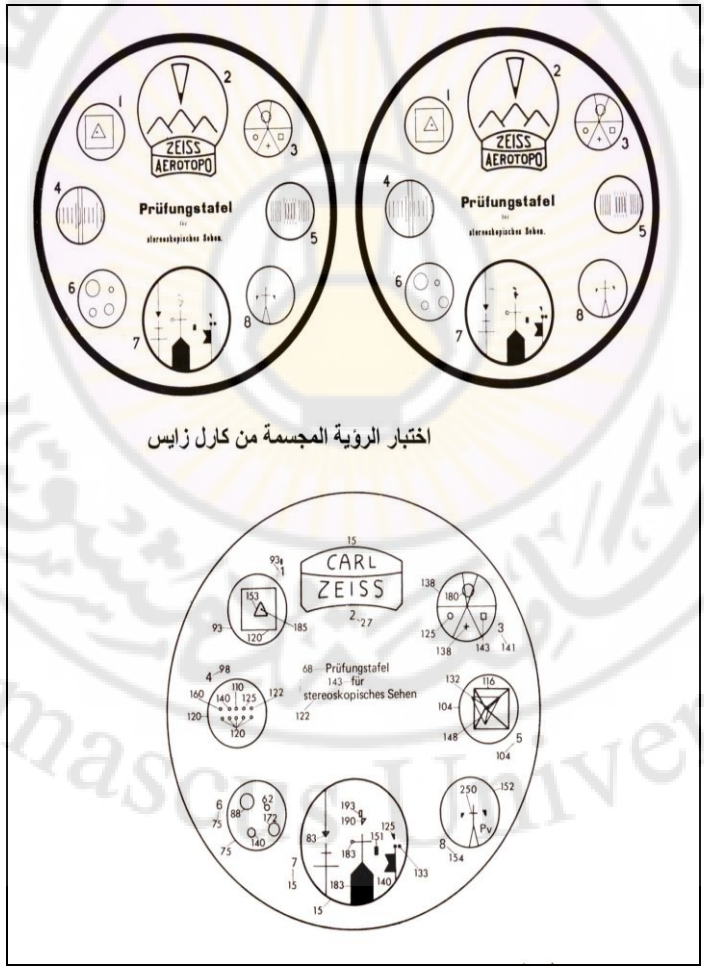
13.3– الأجهزة الأساسية المستخدمة في تفسير الصورة الجوية:

تستخدم الأجهزة في تفسير الصورة الجوية من أجل رؤية الصورة وإجراء عمليات القياس عليها ثم تحويلها أو نقل ما تحويه من معلومات إلى خرائط أساس أو تخزينها كملفات رقمية تستخدم لاحقاً. وهناك العديد من هذه الأجهزة نذكر منها:

المنظار المجسم Stereoscope الذي يقدم رؤية ثلاثية الأبعاد لمظاهر سطح الأرض. عند تراكب الصور الجوية تقدم لنا منظرين ملتقطتين من مكانين مختلفين، فعند رؤية الصورة اليسرى من الزوج بالعين اليسرى ورؤية الصورة اليمنى بالعين اليمنى نحصل على منظر ثلاثي الأبعاد لسطح الأرض ويساعد المنظار المجسم على رؤية التجسيم.

ويمكن استخدام **الشكل (59)** لاختبار الرؤية المجسمة، فعند النظر إلى هذه اللوحات من خلال المنظار المجسم تظهر الأجسام على مسافات مختلفة من عين المراقب ويمكننا تقدير قدرتنا على الرؤية المجسمة من خلال ترتيب الأجوبة (انظر ترتيب الأرقام

ضمن الشكل الناتج). وحيث إنّ الأشخاص الذين يعانون من ضعف الرؤية في إحدى العينين لا يستطيعون الرؤية المجسمة _أي لن يتمكنوا من رؤية الأبعاد الثلاثة_ لكن الكثير من الذين لديهم عين واحدة استطاعوا أن يتميزوا في مجال تفسير الصور الجوية. ويمكن أن يرى بعض الأشخاص الأشكال المجسمة دون منظار مجسم وذلك من خلال وضع الشكل أو الصورة على بعد 20سم من العينين وإتاحة رؤية مستقيمة لكل عين (أي النظر إلى الظاهرة في اللانهاية) وإبعاد عدسة العين مركزة على الشكل المجسم وعندما تندمج الصورتان في صورة واحدة يظهر المجسم بثلاثة أبعاد.



اختبار الرؤية المجسمة من كارل زايس

شكل (59): مفتاح الاختبار

هناك أنواع متعددة من المناظير المجسمة منها:

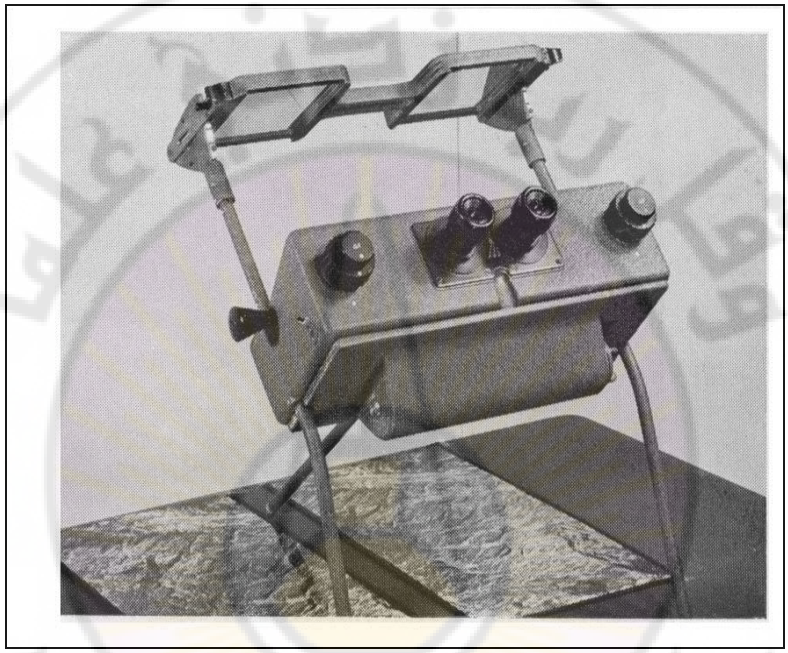
1- المنظار المجسم الجيبي Pocket stereoscopes (انظر الشكل السابق 55) هذا النوع سهل الاستخدام، وصغير الحجم، ورخيص الثمن وقابل للطي. ويمكن تغيير البعد بين العدسات من 50 ملم حتى 76 ملم. كي تلائم المسافة الفاصلة عيني المستخدم للمنظار، يتم تكبير العدسات في هذه المناظير مرتين (للمزيد انظر شنايدر، 1976).

هناك مناظير يتم التكبير فيها حتى أربع مرات من خلال تغيير العدسات العينية لكن من مساوئ هذه المناظير: أن الصورتين المستخدمتين يجب أن تكونا متقاربتين كي يتم وضعهما بشكل صحيح تحت العدسات. لذلك لا يستطيع المستخدم أو المفسر أن يرى كامل المساحة المجسمة التي تبديها الصورة الجوية التي أبعادها (23×23سم) دون رفع أي منهما.

2- المنظار المجسم ذو المرايا Mirror Stereoscope يستخدم هذا النوع من المناظير مجموعة من المرايا والمواشير تفصل خطي نظر عيني المستخدم. في هذا المنظار نجد أن المرايا الجانبية تبعد عن بعضها بمسافة تزيد بكثير على البعد بين عدستي العينين يتم استخدام صورتين جويتين بمقياس 23×23سم. هذه المناظير لا تقوم بعملية التكبير كثيراً لكن يمكن وضع مكبرات ذات عينين على عدستيها تتيح التكبير مرتين حتى أربع مرات في حين حقل الرؤية يقل. لكن المفسر يستطيع أن يرى معظم الأجزاء الموجودة في الأزواج المجسمة دون تحريك الصور أو المنظار. (انظر **الشكل السابق 56**) كما يمكن استخدام أدوات قياس تحت المنظار المجسم بسهولة كوضع جهاز قياس تغيير المنظر Parallax Measuring device، لكن من مساوئ هذه المناظير صعوبة حملها وارتفاع ثمنها.

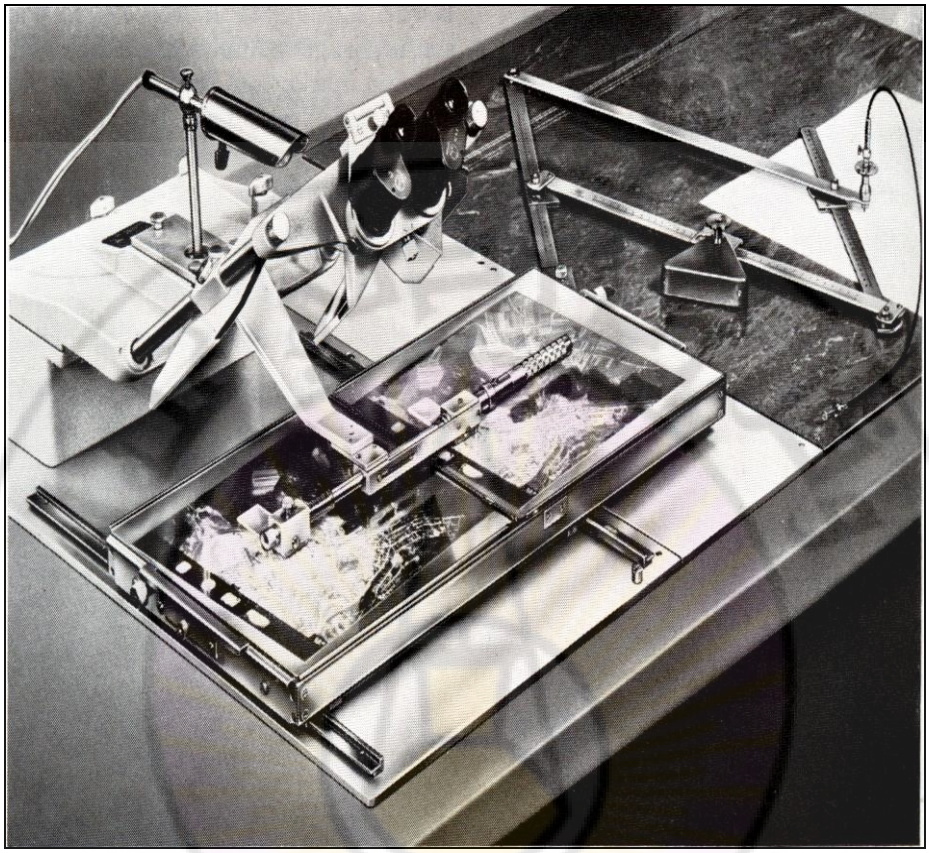
3- المناظير المجسمة الماسحة ذات المرايا Scanning Mirror Stereoscope هذه المناظير مزودة بآلة لتحريك حقل الرؤية على المنطقة المتداخلة

المجسمة في الصورة كلها دون تحريك الصور أو المنظار. تُمكن هذه المناظير من التكبير حتى 4.5 مرة ويمكن استخدام صور أبعادها (مقاسها) 23×46سم. (انظر **الشكل 60**) .



شكل (60): منظار مجسم ماسح ذو مرايا من هولندا (عن Schneider, 1974)

4- مناظير التفسير والرسم Stereo interpretation and drawing Stereo prêt device تستخدم هذه المناظير لتفسير المظاهر الجغرافية ثم رسم هذه المظاهر على الورق (انظر **الشكلين 61،62**)، حيث زُوِّد الجهاز الذي يوضحه **الشكل (61)** بستيريومتر، وبانتوغراف، وقلم رسم (وهو من كارل زايس) ويستخدم صوراً أبعادها 24×24سم. أما المنظار الذي يوضحه **الشكل (62)** فُيمكن من استخدام صور مقاسها 30×30سم وهو مزود بستيرومتر، وذراع راسم.



شكل (61): جهاز تفسير مجسم مزود بجهاز ستيريومتر وبانتوغراف وقلم راسم من كارل زايس Carl Zeiss Oberkochen

شكل (62): جهاز تفسير مجسم مزود بستيريوسكوب وستيريومتر ويمكن من تفسير الصور التي أبعادها 30×30 سم

الفصل الرابع

التصوير الفضائي

Spatial Imaging

1.4– مقدمة

2.4– المواسح متعددة الأطياف

3.4– الماسح الحراري

4.4– أجهزة الاستشعار الميكروية

5.4– الأشعة الصوتية

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع: التصوير الفضائي

1.4– مقدمة

بما أن وسائل التصوير الجوي (الفوتوغرافية) تستطيع أن تتحسس جزءاً صغيراً من الطيف الكهرومغناطيسي (مجال الأشعة المرئية، والأشعة تحت الحمراء القريبة) فإن وسائل التصوير الفضائي (غير الفوتوغرافية) تتحسس بقية أجزاء الطيف الكهرومغناطيسي.

وتختلف هذه الوسائل باختلاف الوسيلة التي تحملها (طائرات– أو أقمار صناعية–أو محطات فضائية أو مكوكات فضائية) فالتصوير الفضائي يُستخدم في مجال الأشعة المرئية وغير المرئية والبيانات التي يقدمها تتشابه مع المعلومات التي يقدمها التصوير الجوي إلا أنها تختلف عنها في طريقة استخراجها. لذا سنركز في هذا الفصل على المواسح المستخدمة في التصوير الفضائي بأنواعها بالتفصيل .

2.4 المواسح متعددة الأطياف

1.2.4 الماسح متعدد الأطياف (MSS) Multi Spectral Scanner

صُمم هذا الماسح كي يتحسس الأشعة في عدد من الحزم الطيفية في الوقت نفسه، وتتراوح هذه الحزم بين الموجات فوق البنفسجية وموجات الطيف المرئي، وموجات الطيف تحت الأحمر القريب، والمتوسط وأيضاً تحت الأحمر الحراري أي في مجال طيفي يتراوح بين (0.3-14) ميكرومتر.

ويتميز هذا الماسح من أجهزة التصوير الجوي بما يلي :

أ- المجال الذي يتحسس فيه الطيف أكبر، ذلك لأن المجال الطيفي الذي تتحسسه الوسائل الجوية يتراوح بين (0.3-0.9) ميكرومتر، بينما يتراوح المجال الطيفي للماسح متعدد الأطياف بين (0.3-14) ميكرومتر.

ب- إن أجهزة التصوير الفوتوغرافي تتطلب وجود الأفلام على الطائرة، ثم تُنقل إلى الأرض، بينما في الماسح متعدد الأطياف يمكن بثها إلكترونياً إلى محطات الاستقبال الأرضية.

ت- يمكن تخزين معطيات الماسح بشكل رقمي، ومن ثمّ يمكن تحليلها باستخدام تقانات الحاسوب ومن ثمّ يمكن الحصول على نتائج أكثر دقة وأهمية.

مكونات الماسح متعدد الأطياف :

يوضح الشكلان (**63 و64**) الأقسام الرئيسة التي يتألف منها هذا الماسح:

1- تلسكوب: لتوجيه الأشعة من مظاهر سطح الأرض إلى المرآة.

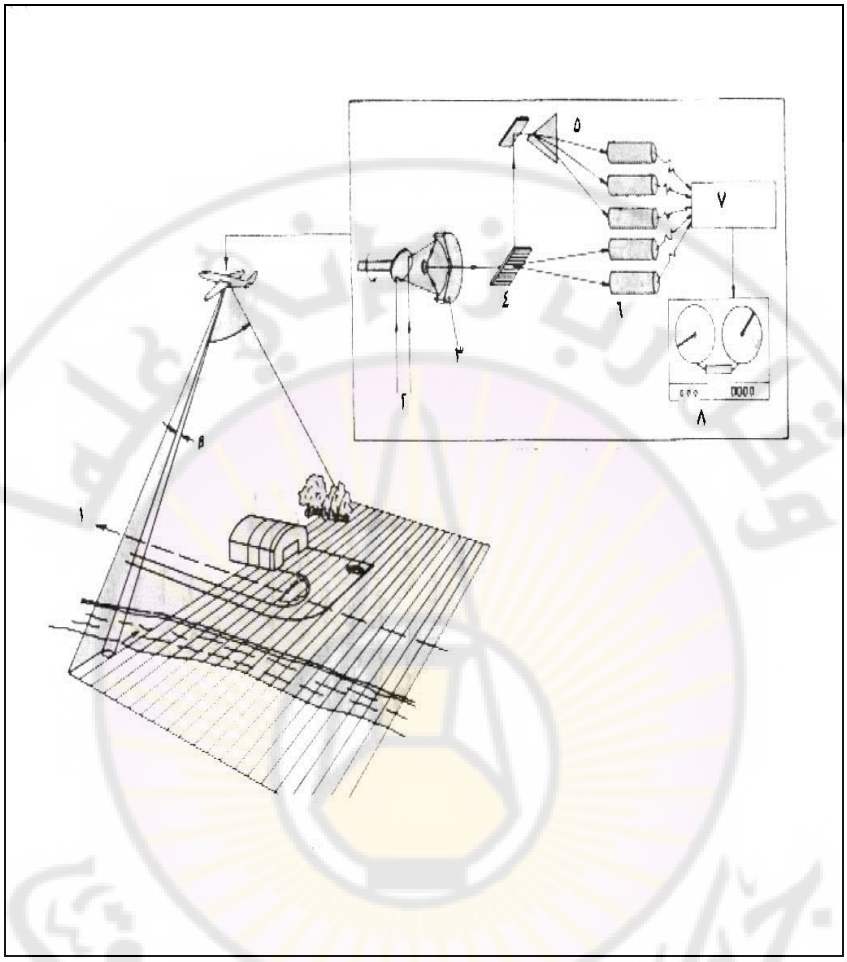
2- المرآة: Mirror تقوم بعكس الأشعة الواردة من التلسكوب إلى العدسات.

3- العدسات: Optics تقوم بتجمع الأشعة في حزم طيفية.

4- شبكة ثنائية اللون :Dichroic grating لفصل الموجات غير الحرارية في الإشعاع الوارد عن الموجات الحرارية. أي أشعة منعكسة ومنبعثة، وتوجيه الجزء غير الحراري من الموجات الخارجة من الشبكة نحو موشور.

5- الموشور :Prism لفصل الطاقة إلى شريط مستمر من الموجات فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء، وتقوم الشبكة ثنائية اللون في الوقت نفسه بتحليل الجزء الحراري الوارد.

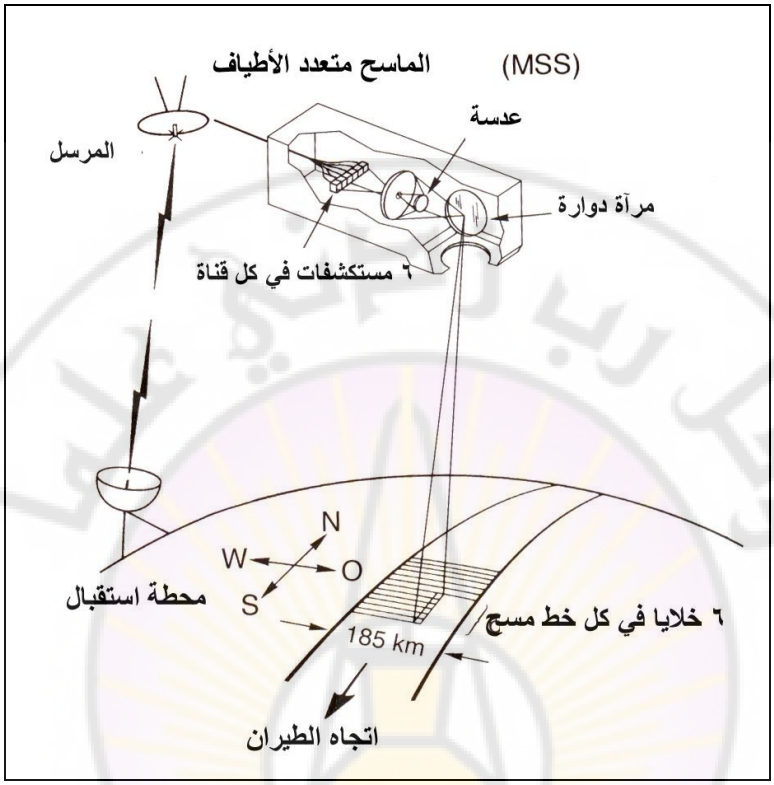
الصمامات الثنائية :Photodiodes توجد خلف الموشور وتقوم باستكشاف الأشعة بعد مرورها على الموشور، وبعد ذلك يتم تضخيمها وتحريرها إلى صندوق التحكم الإلكتروني الذي يقوم بتسجيلها على شريط مغناطيسي حيث يتم تسجيل مخرجات الماسح عادة على آلة تسجيل متماثلة Analog recorder وتكون إما نبضات كهربائية تقلب مباشرة إلى صور باستخدام آلة تسجيل فيلمية على الأرض أو تُخزّن في أشرطة ممغنطة تُدخل إلى الحاسوب وتُعالج فيه في وقت لاحق.



شكل (63): مكونات الماسح متعدد الأطياف

1–خط الطيران –2–الطاقة المنبعثة من مظاهر سطح الأرض–3– العدسات 4–شبكة ثنائية اللون –

5–موشور – 6– المستكشفات –7– صندوق تحكم إلكتروني–8–أشرطة مغناطيسية



شكل(64): آلية المسح في الماسح متعدد الأطياف

يقوم هذا الماسح بثلاث عمليات هي :

1-الجمع Collection

2-الكشف Detection

3-التسجيل Recording

تُعدّ المواسح متعددة الأطياف ذات الأقنية الطيفية الأربع الأكثر شيوعاً. وهناك تجارب أُجريت على أجهزة تعمل بأربع وعشرين قناة.

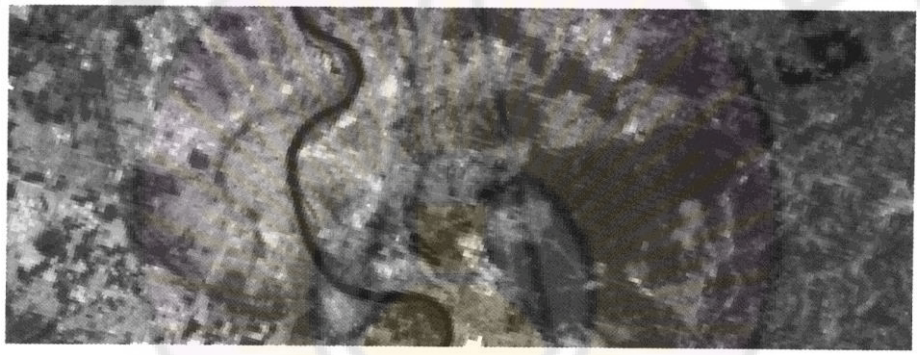
2.2.4 الماسح الغرضي Thematic Mapper TM

اختُرعت مواسح متعددة أطياف أخرى ذات المسح بالكنس الجانبي أيضاً Whisk broom مثل الماسح الغرضي **TM**. تعمل عن طريق تقسيم الأشعة الكهرومغناطيسية إلى نطاقات ضيقة (سبع أقنية طيفية)، ست أقنية منها تمتد من المجال المرئي إلى المجال تحت الأحمر القريب والمتوسط وواحدة في المجال تحت الأحمر البعيد (الحراري). ثم تُوّجه الأشعة في كل نظام خطي منفصل من أجهزة الالتقاط الحساسة لتلك الموجات. تستخدم صور هذه المواسح في دراسات عديدة منها مسح المحاصيل والنباتات الطبيعية، ورطوبة التربة، والظاهرات الجيولوجية، واستخدام الأرض وغيرها. حيث نستطيع تمييز مظاهر السطح ورسمها عن طريق دراسة الاختلافات اللونية على مجموعة مختارة من الصور. انظر **الأشكال (65، و66، و67)** التي تبين صوراً لماسح متعدد الأطياف بالمقارنة مع الصور الملتقطة من القمر الصناعي الأوروبي ERS).

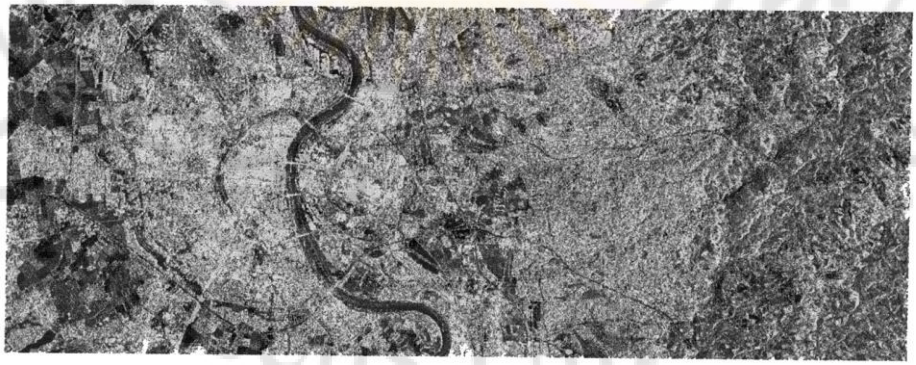
3.2.4 الماسح الغرضي المحسّن Enhanced Thematic Mapper Plus ETM+

هو نسخة محسّنة عن الماسح الغرضي TM ويعطي صوراً متعددة الأطياف بدقة أعلى ضمن ثماني أقنية طيفية، السبع الأولى منها في المجال المرئي والمجال تحت الأحمر القريب والمتوسط والبعيد حيث تتشابه مع الأقنية الموجودة في الماسح السابق، ولكن يضاف إليها قناة ثامنة في المجال البنكروماتي يبلغ طولها الموجي 0,52-0,90 ميكرومتر.

شكل (65): صورة ملتقطة بوساطة الماسح الغرضي المحمول على لاندسات عام 1992 لمدينة كولن ومحيطها في مجال الأشعة المرئية بموجة طولها 0.6–0.7 ميكرومتر ومقياس 1:250000



شكل (66): صورة ملتقطة بوساطة الماسح الغرضي المحمول على لاندسات عام 1992 لمدينة كولن ومحيطها في مجال الأشعة الحرارية ضمن المجال الطيفي 10–12 ميكرومتر بمقياس 1:250000



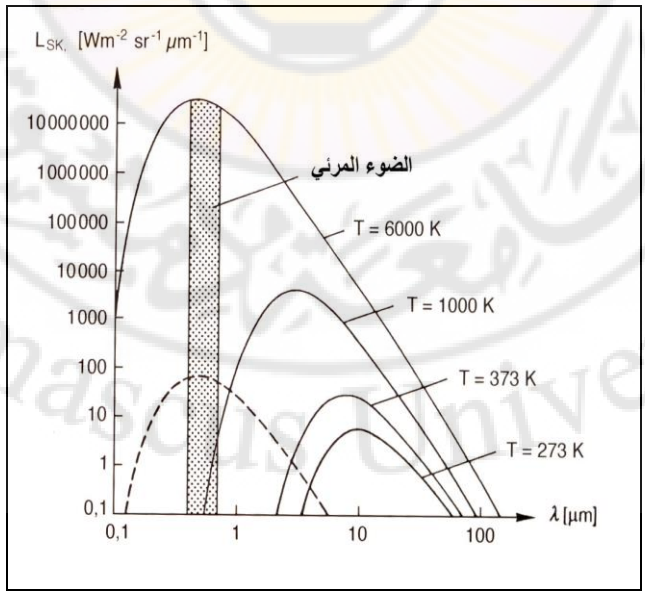
شكل (67): صورة رادارية ملتقطة بوساطة القمر الصناعي ERS عام 1992 لمدينة كولن ومحيطها في مجال الأشعة الميكروية ضمن المجال الطيفي 6 سم بمقياس 1:250000

3.4– الماسح الحراري: Thermal Scanner :

يتركز عمل الماسح الحراري في مجال الأشعة تحت الحمراء البعيدة التي تقع بين (3-14ميكرومتر) وتُصمم بعض الماسحات لتوجيه الأشعة إلى جهازي استشعار: الأول يتحسس الموجات التي طولها يتراوح بين (3-5) ميكرومتر، والثاني يتحسس الموجات التي طولها يتراوح بين (8-14 ميكرومتر). هذه الأجهزة لا تقيس حرارة المظاهر بل الطاقة المنبعثة منها.

1.3.4– انبعاث الطاقة من المصدر الإشعاعي:

نعلم أن الأجسام الحارة تصدر طاقة أكثر من الأجسام الباردة، ويقوم الفيزيائيون بإيجاد معادلات يتم من خلالها حساب الطاقة الصادرة عن الطيف عند درجة حرارة معينة من قبل سطح الجسم الأسود (Black Body) والجسم الأسود: **جسم افتراضي يمتص كامل الأشعة التي تصطدم بسطحه ثم يبثها كاملة. (انظر الشكل 68)**. من هذا الشكل نرى ما يلي:



شكل (68): منحنى إشعاع الجسم الأسود

1- تزداد الطاقة الكلية الصادرة بسرعة كلما ازدادت حرارة الجسم الأسود.

2- كمية الطاقة الصادرة عن جسم أسود ذي حرارة عالية تكون كبيرة في أطوال الموجات جميعها.

3- تتناقص طول الموجة التي تكون فيها الطاقة الصادرة في ذروتها بمعدل ثابت كلما ارتفعت درجة حرارة الجسم الأسود.

4- الطاقة الشمسية التي تكون قمة انعكاسها عند طول الموجة 0.5 ميكرومتر (في المجال المرئي) في درجة حرارة 6000 كالفن تكون المصدر الأساسي للاستشعار عن بعد[9]. أما الأرض التي معدل حرارتها حوالي 300 كالفن فتبلغ قدرتها على إصدار الإشعاع ليلاً عند طول الموجة 9.7 ميكرومتر (الأشعة تحت الحمراء البعيدة). ويدعى هذا الإشعاع (الأشعة تحت الحمراء البعيدة أو الحرارية) لارتباطه بحرارة الأرض، هذه الطاقة لا يمكن رؤيتها وإنما تحسسها وتسجيلها من خلال أجهزة حرارية.

يمكن قياس الإشعاع المنبعث من خلال المعادلة الآتية:

$$F = \varepsilon EST^4$$

حيث:

F الأشعة المنبعثة بالواط

ε القدرة الإصدارية للجسم

E مساحة الجسم بالمتر المربع

S هو ثابت ستيفان بولتزمان $(W/m^2/K^4) 5.67\times10^{-8}$

T درجة الحرارة بالكلفن

[9] Albertz, J: Einfuehrung in die Fernerkundung , Wissenschaftliche Buchgeselschaft.Darmstadt. Germany, 2001

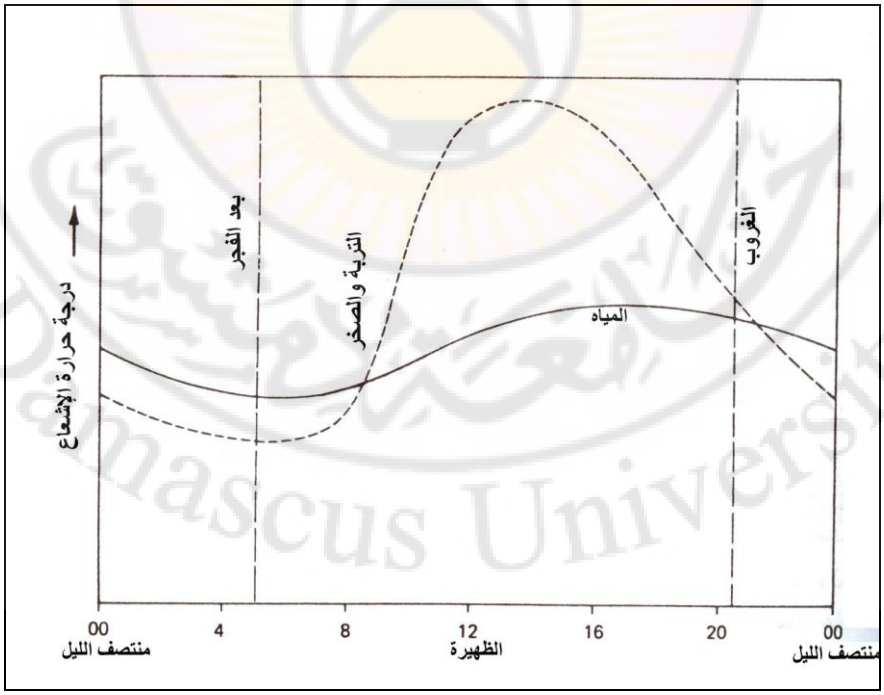
في عملية المسح الحراري ليس من الضروري معرفة درجات الحرارة الحقيقية للأرض والقدرة الإصدارية لمواردها Emissivity ويرمز لها بالحرف (ε) بل يكفي دراسة الاختلافات النسبية في درجات حرارة الإشعاع لظاهرة ما. انظر **الجدول رقم (4)** الذي يبين القدرة الإصدارية لبعض مظاهر سطح الأرض. ويمكن إجراء المسح الحراري في أوقات مختلفة من اليوم لكن هناك عوامل كثيرة تؤثر في اختيار أفضل الأوقات للحصول على المعطيات الحرارية. لذا يجب عند تفسير صور الماسح الحراري أن نأخذ بالحسبان تغيرات درجات الحرارة اليومية.

إذا نظرنا إلى **الشكل (69)** الذي يبين درجات الحرارة للترب والصخور والمياه خلال 24 ساعة ولكن قبل الفجر تكون منحنيات درجات الحرارة لهذه الظاهرة متقاربة أو شبه متوازنة، ثم تبدأ بالاضطراب بعد الفجر وترتفع الحرارة لتصل إلى الذروة ما بعد الظهر.

وهنا نجد أن مدى تسخن المياه يكون قليلاً إذا ما قورن بالمدى الذي تصله درجات الحرارة في الترب والصخور كما أن درجة حرارة المياه تصل إلى أقصاها بعد ساعتين من المظاهر الأخرى، ونتيجة لذلك تكون درجة حرارة الأرض أعلى من درجة حرارة المياه في أثناء النهار .وأكثر انخفاضاً في الليل بعد الفجر بقليل، وبعد المغيب يتقاطع منحني حرارة المياه مع منحني التربة والصخر، هذا التقاطع يدعى التقاطع الحراري (Thermal crossover) ويدل على الأوقات التي لا نجد فيها اختلافاً في درجات حرارة الإشعاع بين ظاهرتين.

جدول (4): القدرة الإصدارية لبعض مظاهر الأرض

الظاهرة	القدرة الإصدارية ε	الظاهرة	القدرة الإصدارية ε
غرانيت خشن	0.898	بيتون (إسمنت)	0.966 -0.942
بازلت خشن	0.934	إسفلت	0.956 -0.950
بازلت مقطع (شظايا) ناعم	0.952	أنواع مختلفة من أوراق النباتات	0.970 – 0.920
دولوميت خشن	0.958	حشائش كثيفة قصيرة	0.973
صخور رملية	0.985 – 0.935	تربة جافة	0.920
رمل مختلف الرطوبة	0985 -0.880	مياه ملوثة بدرجات مختلفة	0.979- 0.973
مناطق بركانية	0.980 – 0.965	مياه تعلوها طبقات من الزيت	0979- 0.960
قرميد	0.930	ثلج وجليد	0.990- 0.980



شكل (69) التغيرات اليومية لدرجات حرارة الإشعاع للترب والصخور والمياه خلال 24 ساعة

إنّ تغيّر درجات الحرارة القصوى والدنيا وسرعة هذا التغير لأي مادة على سطح الأرض تحدد بناقليتها الحرارية Thermal conductivity لتلك المادة وسعتها الحرارية Thermal capacity وعطالتها الحرارية أيضاً Thermal inertia.

إن الناقلية الحرارية هي مقياس لسرعة انتقال الحرارة من خلال المادة بشكل أسرع من مرورها من خلال الصخور، وتحدد السعة الحرارية ما تخزنه المادة من حرارة. فالمياه لها سعة حرارية عالية جداً إذا ما قورنت بالمظاهر الأخرى. أما العطالة الحرارية فهي مقياس لاستجابة المادة لتغيرات درجة الحرارة، وهي تزداد بازدياد ناقلية المادة وسعتها وكثافتها. وتتميز المواد ذات العطالة الحرارية العالية عامة بدرجة حرارة سطحية أكثر ثباتاً طوال الليل والنهار من المواد ذات العطالة الحرارية المنخفضة. تقوم أشعة الشمس بتسخين الأجسام في أثناء النهار بشكل مختلف حسب خصائصها الحرارية وقدرتها على امتصاص أشعة الشمس. انظر **الشكل(70)** .

شكل (70): صورتان حراريتان جويتان التقطتا في الليل والنهار لمنطقة (ميدلتون) التقطت الأولى الساعة 2.40 بعد الظهر والثانية الساعة 9.50 مساءً في 17 أيلول عام 1971

4.4 – أجهزة الاستشعار الميكروية: Microwave Sensing

هي أجهزة تتحسس الجزء الميكروي من الطيف الكهرومغناطيسي بأطوال موجات تقع بين (1ملم–1م) وتتميز الموجات الميكروية بقدرتها على اختراق الغلاف

الجوي في الظروف كلها حسب طول الموجة المستخدمة، وتستطيع أن تخترق الضباب والمطر والثلج والدخان. كما أن الموجات الميكروية المنعكسة عن مظاهر الأرض أو الصادرة عنها ليس لها علاقة مباشرة بما يقابلها في المجال المرئي أو الحراري من الطيف؛ فمثلاً السطوح التي تبدو خشنة في الجزء المرئي من الطيف قد تكون ملساء عندما تُرى في المجال الميكروي. تحمل الأجهزة الميكروية مشعرات فاعلةActive كالرادار الذي يقوم بتوليد الطاقة، ومشعرات غير فعالة Passive كالراديومتر الذي يعتمد على الأشعة الطبيعية. سنعالج هنا الرادار بوصفه مشعراً ميكروياً فعالاً.

1.4.4– الرادار Radar:

الرادار كلمة مؤلفة من الأحرف الأولى للمفردات الإنكليزية وهي Detection Radio And Ranging. لقد اختُرع أول جهاز رادار من قبل البريطانيين خلال الحرب العالمية الثانية واستُخدم لتحديد مواقع الأهداف العسكرية واستكشافها. تتحدد قدرة التمييز المكاني للرادار بحجم الهوائي فكلما كبر الهوائي مهما كان طول الموجة ازدادت قدرة التميز المكاني. هناك أنواع عدة من الرادارات هي:

أ- **الرادار المحمول جواً ذو الفتحة الجانبية**: Airborne Radar (SLAR) Side Looking

يستخدم هذا الرادار هوائياً مثبتاً في أسفل الطائرة وموجهاً جانبياً لإرسال الإشارات الرادارية واستقبالها، حيث يقوم الجهاز الميكروي الحساس بإرسال نبضات إشعاعية من الطاقة في المجال من (1–30) سم ثم يقوم بقياس الأشعة المرتدة (المنعكسة في الأرض) وقد طُوّر الجيل الأول منه في بريطانيا، بحيث يستطيع الهوائي الدوران وفي أثناء دورته الكاملة يلتقط نبضات ميكروية خلال عملية المسح وتُسجّل الأشعة المرتدة على شكل بقع ضوئية على أنبوب الأشعة المهبطية ثم قياس الشدة والزمن الذي استغرقته الأشعة المرتدة من الموجة المرسلة مما يسمح بالتعرف على مواقع المظاهر شديدة الانعكاس مثل الغيوم الإعصارية، والطائرات والسفن وذلك بمعرفة اتجاهها وموقعها الهوائي.

لكن لسوء الحظ ينقص هذه الأجهزة تحديد الموقع بالدقة الكافية التي تتطلبها معظم العمليات الكارتوغرافية.

بعد الحرب العالمية الثانية طُوّر جهاز الرادار (SLAR) بوصفه نظام استشعار عن بعد عالي الدقة قادراً على إنتاج مرئيات تفصيلية تشبه الصور لمساحات كبيرة من سطح الأرض انظر **الشكل** (**71**) . هناك نوعان من هذه الرادارات هما:

1- **الرادار ذو الفتحة الحقيقية**: Real Aperture Radar (RAR)

إن الصورة الناتجة عن هذا الرادار هي أشعة منعكسة (مرتدة) من آلاف النبضات الميكروية، كل نبضة مرسلة من رادار طائرة تتركز على شكل حزمة خفيفة ذات شكل مروحي عمودي على خط الطيران.

عندما تصل أية نبضة إلى سطح الأرض تنعكس كميات مختلفة من الطاقة إلى هوائي الرادار وكلما كان الجسم بعيداً عن الطائرة استغرق زمناً أطول في الوصول (أي الزمن بين إصدار النبضة الإشعاعية واستقبالها يصبح أطول). وبما أن الأشعة الميكروية تنتشر بسرعة الضوء فإن الزمن الذي تستغرقه يتناسب طرداً مع بعد الظاهرة عن الطائرة ويدعى ذلك مسافة مجال الانحراف (Slant Rang Distance) ويمكن قياس مدى الانحراف لأية ظاهرة من خلال المعادلة الآتية:

$$SR = \frac{CT}{2}$$

حيث:

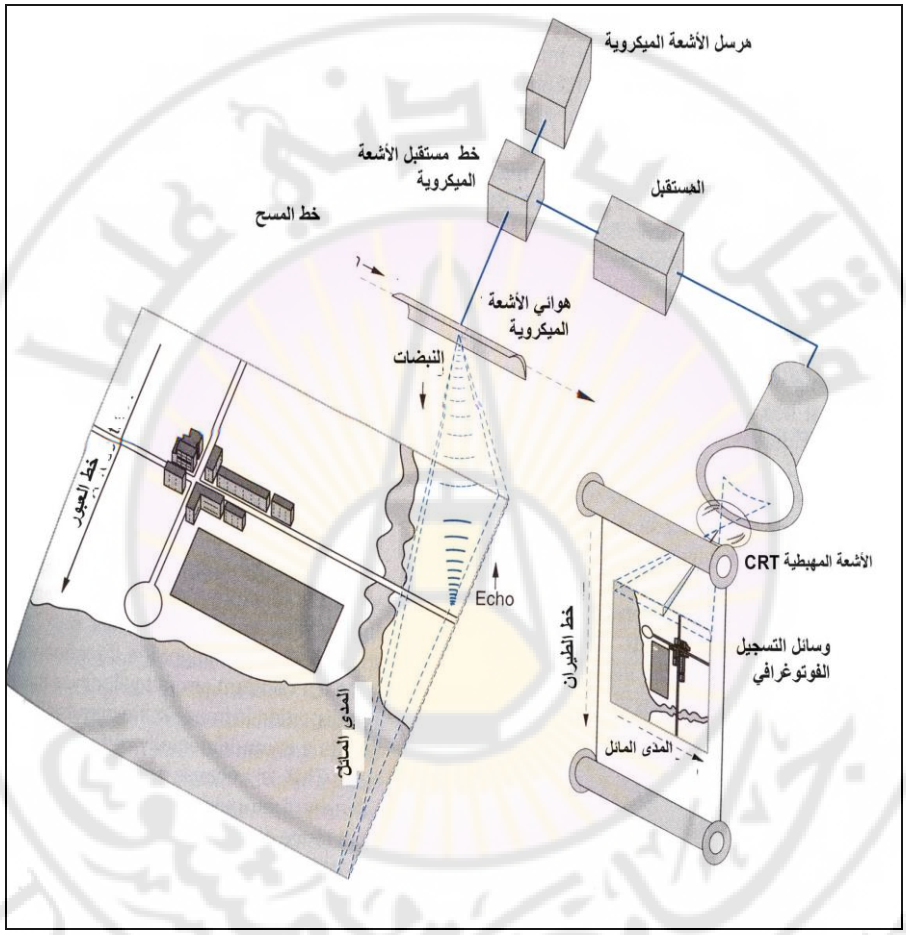
SR= مدى الانحراف (المسافة بين المرسل والظاهرة)

C = سرعة الضوء (3×10^{8} ثا)

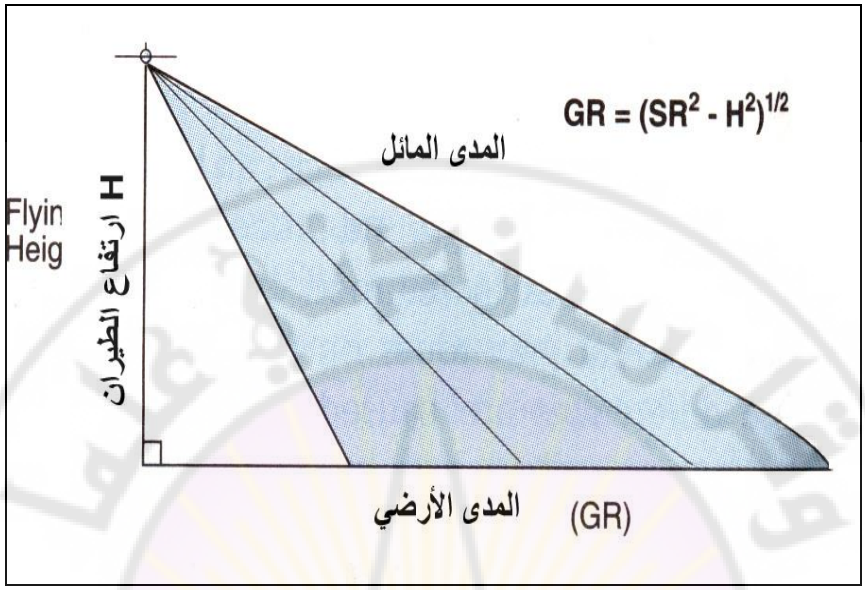
T= الزمن الفاصل بين إرسال النبضة واستقبال الصدى.

أما الرقم (2) فيدخل في المعادلة لأن الزمن المقاس لانتشار النبضة يعادل ضعفي بعد الظاهرة أي ضعفي مداه.

والأساس المعتمد في أجهزة الرادار المصوّرة هو تحديد المسافة إلكترونياً بقياس زمن الإرسال انظر **الشكل (72)**.



شكل (71): الرادار ذو الفتحة الجانبية SLAR



شكل (72): العلاقة بين مدى الانحراف والمدى الأرضي وارتفاع الطيران

عندما ترسل الطائرة في أثناء سيرها مقدار نبضة إشعاعية واحدة فإنه في المقابل تُرسل نبضة أخرى وتعاد عملية الاكتشاف. أما الصورة الرادارية الداخلية فتُنتج عن طريق تسجيل مختلف الأشعة العائدة من آلاف النبضات الناجحة. وتشكل الأشعة العائدة خطَّ مسح واحداً على الصورة يكون مساوياً لمدى مسافة الانحراف وكل خط مسح يُسجّل فوتوغرافياً عن طريق حزمة ضوئية ضيقة بحيث تمسح الفيلم، وتتعلق قوتها بطول الأشعة المرتدة. وتتشكل الصورة الداخلية عن طريق وضع الفيلم باتجاه عرض خط مسح واحد بين فترتي التعريض للأشعة.

2- الرادار ذو الفتحة الصناعية (SAR) Synthetic Aperture Radar

يمتاز هذا النوع من الرادارات بإنتاج مرئيات ذات دقة تمييز عالية وصحيحة الموقع من الناحية الهندسية حيث نجد أن الهوائي الذي يصدر ويستقبل الأشعة يكون أقصر. ويُسجّل زمن الانتقال والحركة لتكرار الأشعة المرتدة (نتيجة حركة الطائرة) على فيلم متوسط. بعد ذلك يُرسل ضوء ليزري من خلال هذا الفيلم من أجل إنشاء الصورة الرادارية النهائية كما ويتم تسجيل التردد الزمني (زمن تكرار المعلومات) بشكل رقمي

أيضاً، ثم تُنقل صورة رقمية متوسطة إلكترونياً إلى الأرض حيث يمكن إجراء عمليات معالجة عليها لاستخدامها.

إن الاختلافات في تمييز الأشعة المرتدة تخلق شدات لونية رمادية مختلفة على الصورة الرادارية هذه الاختلافات ناتجة عن عوامل عدة هي:

- طول موجة الأشعة المستخدمة.
- تركيب المادة الأرضية.
- الموقع الطبوغرافي للمظاهر بالنسبة لهوائي الرادار.
- زاوية ميل الحزمة الرادارية (درجة ميل الرادار).

تستخدم معظم أنظمة الرادار الجوي الجانبي النطاقات الطيفية الميكروية الموضحة في **الجدول (5)**.

جدول(5): المجالات الطيفية واطوال الموجات المستخدمة وترددها (عن Albertz 2001)

المجال الطيفي Band	طول الموجة λ	التردد f
ka	$0.7-1cm$	$30-40GHz$
X	$2.4-4.5cm$	$7-12GHz$
C	$4.5-7.5cm$	$4-7GHz$
L	$15-30cm$	$1-2GHz$
P	$60-300cm$	$0.2-0.5GHz$

من خلال المعادلة نستطيع تحويل تردد الرادار إلى طول موجة.

$$\text{طول الموجة} = \frac{30}{\text{التردد (الكيلومتر)}}$$

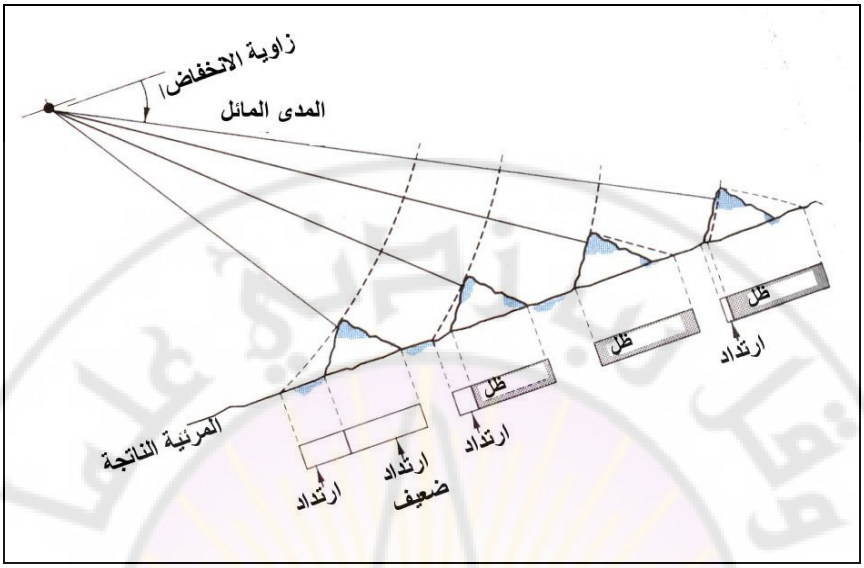
هذه النطاقات جميعها تسمح بإنتاج مرئيات في الليل والنهار وتستطيع أن تخترق الضباب في الجو والغيوم وأشكال الهطول كلها. وإن الموجات الرادارية الأطول تخترق الأمطار الغزيرة والثلج والبرد لكن على حساب التفاصيل الأرضية.

تتضمن خصائص السطح التي تؤثر في كمية الأشعة المنعكسة والعائدة الخشونة بالنسبة لطول موجة الأشعة وكذلك كمية الرطوبة الموجودة في كل ظاهرة بالإضافة إلى قدرة المظاهر الخاصة على توصيل الطاقة الميكروية.

غالباً ما يظهر الإسمنت (الخرسانة) الناعم والمياه الهادئة بلون أسود على الصورة نتيجة شدة الانعكاس بعيداً عن الهوائي. بينما المناطق الصخرية مثل السدود (أو الحواجز) الحصوية أمام الأنهار فتظهر غالباً بشدة لونية فاتحة.

لا تستطيع الأشعة الميكروية اختراق المظاهر الكثيفة أو الضخمة مثل الأبنية والهضاب، كما وإن جدران الأبنية والسطوح المستوية المتجاورة مثل مساحات الأراضي الخالية المخصصة لمواقف السيارات تشكل أحياناً عواكس زاوية (Corner Reflectors) للأشعة الميكروية التي تسبب بقعة بيضاء على الصورة تُظهر جوانب البناء. ونتيجة لصغر الزاوية التي تكون عندها الهضاب مضاءة بوساطة طائرة منخفضة فإن الظلال المشابهة لتلك الهضاب التي تغطيها غالباً ما تتشكل على الصورة قبل غروب الشمس. هذه الظلال تُحسن الطباعة ثلاثية الأبعاد لتضاريس الأرض وغالباً ما تظهر أشكال الأرض أكثر وضوحاً.

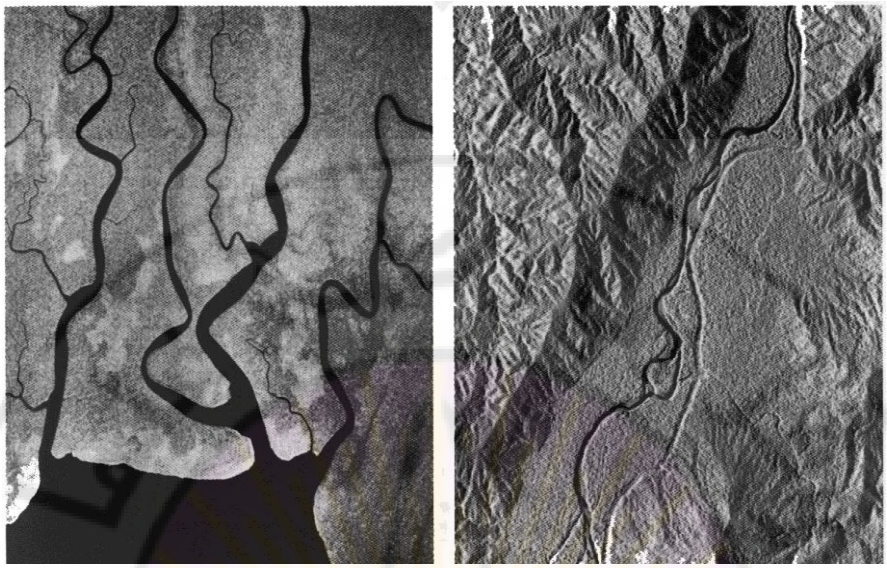
ومن ناحية أخرى تُحتجب الظلال الرادارية الكبيرة غالباً بنسبة كبيرة من تضاريس الأرض بما فيها من مظاهر عديدة مهمة يجب أن ترسم على الخرائط. كما أن انخفاض الزاوية بين الهوائي و الظاهرة الأرضية تؤثر في الظلال الرادارية أيضاً. فإذا كان لدينا هضبتان متماثلتان فإن الهضبة ذات الزاوية الأصغر يكون الظل المتشكل عندها أكبر هذا يعني أن الجسم الأبعد عن الطائرة سيشكل ظلاً أكبر على الرادار. (انظر **الأشكال 73 و 74و 75 و76**) **و الجدول (6)**.



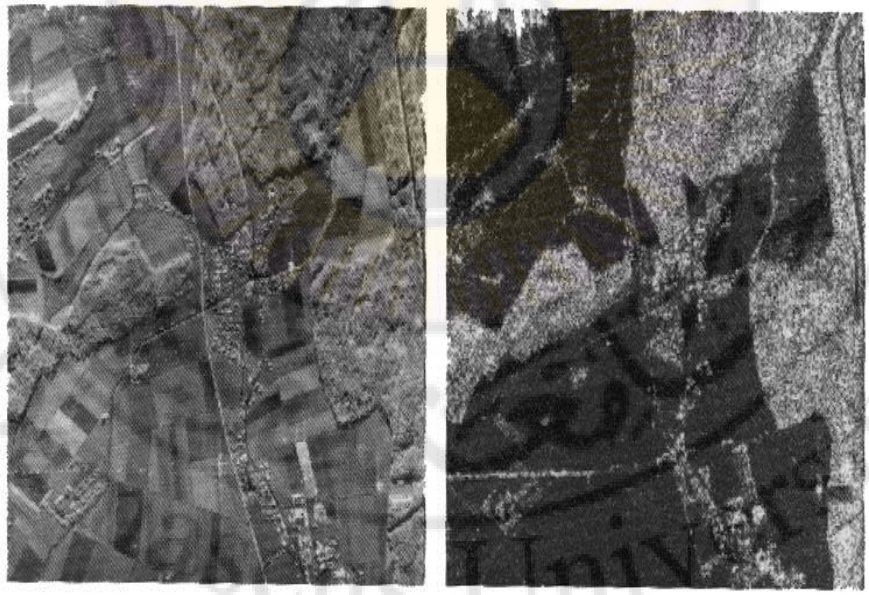
شكل (73) تأثير تضاريس سطح الأرض في الإزاحة في مرئيات SLAR

جدول (6): خشونة السطح ضمن ثلاث زوايا لورود الأشعة في ثلاثة مجالات طيفية.

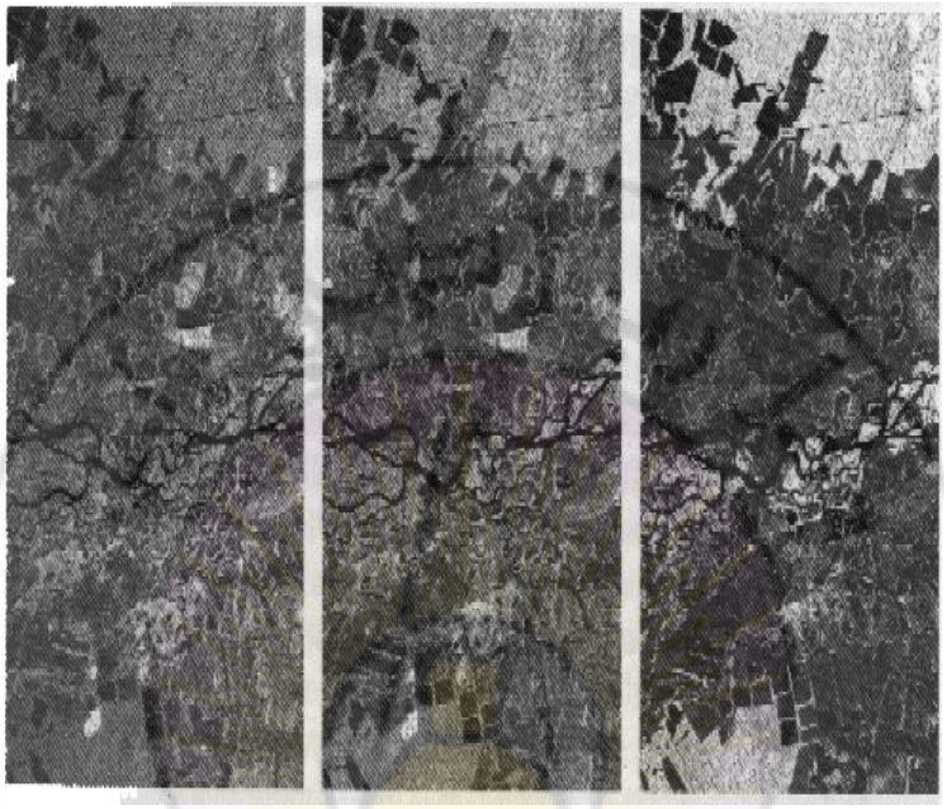
زاوية الورود	شكل السطح	المجال Ka $\lambda = 0.86cm$	المجال X $\lambda = 3.2cm$	المجال L $\lambda = 23.5cm$
20 درجة	سطح أملس	0.04 >	0.14 >	1.00 >
	متوسط الخشونة	0.21 – 0.04	0.77 – 0.14	5.68 – 1.00
	خشن	0.21 <	0.77 <	5.68 <
45 درجة	سطح أملس	0.05 >	0.18 >	1.33 >
	متوسط الخشونة	0.28 – 0.05	1.03 – 0.18	7.55 – 1.33
	خشن	0.28 <	1.03 <	7.55 <
70 درجة	سطح أملس	> 0.10	0.37 >	2.75 >
	متوسط الخشونة	0.57 – 0.10	2.13 – 0.37	15.6 – 2.75
	خشن	0.57 <	2.13 <	15.6 <



شكل (74): تأثير خشونة السطح وأشكال سطح الأرض في مرئيات الرادار



شكل (75): صورتان من SAR للمكان نفسه ملتقطتان في أطوال موجية مختلفة.: الصورة اليسرى ملتقطة بموجة قصيرة في المجال Xبطول 9.55 GHz،والصورة اليمنى بموجة طويلة في المجال Bبطول 0.415 GHz بمقياس 1/35000.



شكل (76): صور من SAR ملتقطة بالمجال L من جهات مختلفة

ب- **الرادار المحمول فضائياً**

إنّ استخدام أجهزة الرادار على متن الأقمار الصناعية بدأ بشكلٍ عام مع استخدام تقانات الفتحة الصناعية على القمر الصناعي سيسات SESAT- 1978 ثم اسُتخدم بشكلٍ كبير على متن الكثير من الأقمار الصناعية الأخرى (مثل إيرس الأوروبي European Remote Sensing Satellite: ERS)حيث استخدم كل من إيرس -1- 1991 وإيرس -2 – 1995 جهازاً رادارياً يحمل جهازاً ميكروياً فعالاً Active Microwave Instrument (AMI).

أما رادار سات الكنديRADARSAT فقد حمل نظام رادار ذا فتحة صناعية (SAR) متعدد الوسائل، لكن الوكالة الأوروبية للفضاء خططت أن يحمل أنفيسات

ENVISAT جهازاً ميكروياً فعالاً محسناً. انظر **الجدول** (7) الذي يبين خصائص الأقمار التي تحمل أنظمة رادار.

جدول (7): خصائص الأقمار الصناعية التي حملت أنظمة الرادار

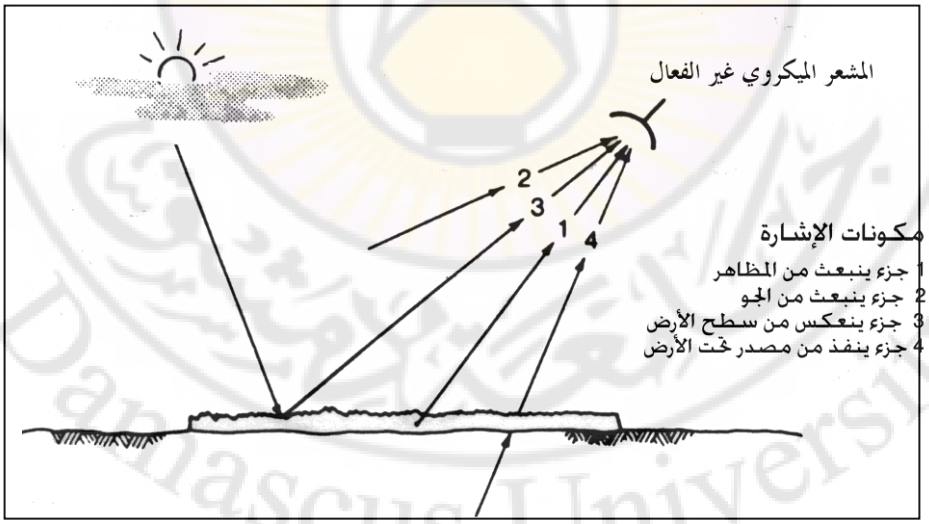
الخصائص	القمر الصناعي		
	ERS2	RADARSAT	ENVISAT
الشركة	European) ESA Space Agency	Canadian Space Agency CSA	ESA
عام الإطلاق	1995	1995	2001
ارتفاع القمر	780 كم	798 كم	800 كم
زاوية الميل	98.5	98.5˚	98.5˚
نوع المشعر	AMI	SAR	ASAR
عرض شريط المسح	100 كم	100 كم	56- 120 كم
التكرارية الزمنية	35 يوم	24 يوم	35 يوم
قدرة التمييز المكاني	25 متر	28 متر	30 متر
المجال الطيفي طوله وتردده	C بطول 5.6 سم، وتردد GHz 5.3	C بطول 5.6 سم وتردد GHz 5.3	C بطول 5.6 وتردد GHz5.33
زاوية الانخفاض (زاوية الرؤية)	23˚	45˚– 20˚	40˚– 15˚
الاستقطاب[10]	VV	HH	VV أو HH

[10] يمكن إرسال الإشارات الرادارية واستقبالها أو إرسالها واستقبالها في الوقت نفسه بأشكال مختلفة إما في مستوى أفقي ويدعى H أو في مستوى شاقولي ويدعى V، أو يستقبل ويرسل في HH أي المستوى الأفقي، أو إرسال واستقبال في VV أي في المستوى الشاقولي.

2.4.4- الراديومتر Radiometer :

يعمل الراديومتر بالمجال الطيفي نفسه للرادار. لكنه يعطي منظراً مختلفاً عما يقدمه الرادار ذلك لأنه من الأجهزة غير الفعالة فهو لا يرسل الطاقة، إنما يستشعر الطاقة الميكروية الموجودة في حقل رؤيتها بشكل طبيعي. وهو يعمل بالطريقة المتبعة في مقياس الإشعاع والماسحات الحرارية. لذلك فإن الإشعاع الحراري هو الأساس في فهم عمله.

معظم أجهزة الراديومتر تعمل في المجال الطيفي نفسه للرادار أي (حتى30سم). وتعمل في الجزء الأخير القليل الطاقة من منحني إشعاع الجسم الأسود بدرجة (300) كالفن الذي يميز المعالم البرية. الأجسام في الطبيعة في هذا المجال الطيفي كلها تصدر إشعاعاً ميكروياً وإن كان ضعيفاً، بما في ذلك المظاهر الأرضية والغلاف الجوي. وتتألف الإشارات في الواقع من عدد من المكونات بعضها منعكس والآخر نافذ. كما في **الشكل (77)**.



شكل (77): مكونات الإشارة الميكروية غير الفعالة

في هذا الشكل نجد أن الإشارة المكروية غير الفعالة لأية ظاهرة تحوي على ما يلي:

1. جزء منبعث يتعلق بدرجة حرارة سطح الأرض. (Emitted from object) والمادة المكونة للظاهرة.
2. جزء منبعث من الغلاف الجوي (Emitted from atmosphere)
3. جزء منعكس من السطح من ضوء الشمس خلال ساعات النهار (Reflected from surface)
4. جزء ينفذ من مصدر تحت السطح (Transmitted from surface)

هكذا يمكن القول إن شدة الإشعاع الميكروي غير الفعال الذي تعمل فيه أجهزة الراديومتر لا يعتمد على درجة حرارة الظاهرة وشدة الإشعاع الوارد فحسب بل على خصائص إصدارية الظاهرة وقدرتها الانعكاسية ونفاذيتها أيضاً. وتتأثر هذه الخصائص بالخصائص الكهربائية والكيميائية وتركيب سطح الظاهرة. وتُسجّل بيانات الراديومتر على شريط مغناطيسي على شكل بيانات رقمية أو شكل صور (مرئيات).

تُستخدم بيانات الراديومتر في تطبيقات متعددة في مجال علوم البحار والتطبيقات المناخية، حيث يُستخدم لقياس تغير درجات حرارة الغلاف الجوي وتحديد توزع الماء والأوزون فيه.

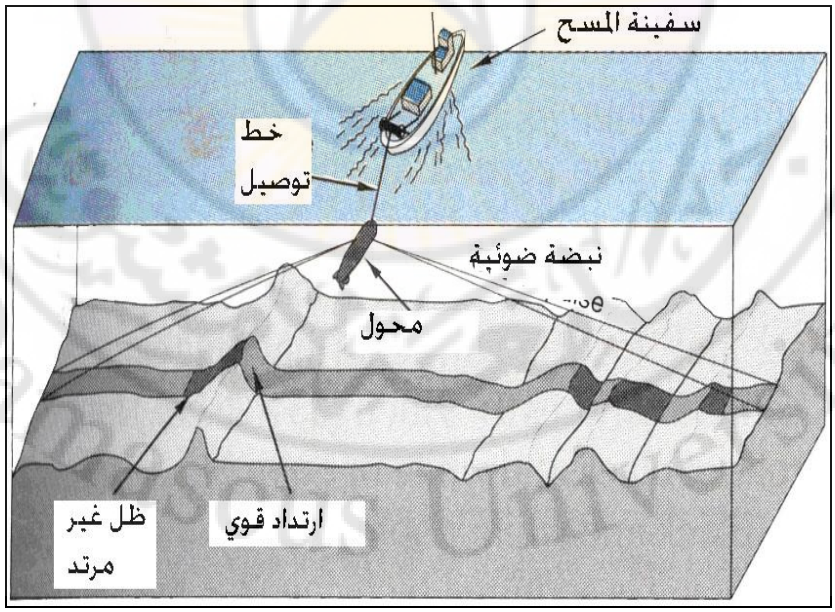
5.4– الأشعة الصوتية: Sound Energy

إن استخدام الاستشعار عن بعد في دراسة قاع المحيطات التي تغطي ثلاثة أرباع الأرض أصبح ممكناً باستخدام ما يسمى طاقة الأمواج الصوتية Acoustical energy. والطاقة الصوتية بالمقارنة مع الطاقة الكهرومغناطيسية تنتقل في الماء بشكل بطيء (بسرعة أقل من 1500م/ثا) أو بنسبة (200000/1) من سرعة الضوء.

على كل حال، إن امتصاص الصوت في الماء أقل بكثير من امتصاص الطاقة الكهرومغناطيسية التي تستخدم في عملية استشعار المظاهر تحت سطح البحر والتي تكون على عمق أكبر من 25م في الظروف المثالية ومن ثمّ يمكن استخدامها لدراسة المظاهر السطحية أو القريبة من السطح .ضمن هذا العمق يتم وصف الأمواج الصوتية من خلال ترددها الذي يحدد موقعها في الطيف الصوتي والفرق في تردد الأمواج الصوتية يتراوح من أقل من 1- إلى أكثر من 100000 هرتز (دورة في الثانية).

1.5.4 –أجهزة السونار (الماسح الجانبي للتصوير المائي) Sonar:

يمكن الحصول على صور لقاع المحيط مشابهة لصور SLAR من أجل رسم خرائط الأعماق المتساوية باستخدام أجهزة التصوير الجانبي بمشعرات صوتية تُدعى السونار Sonar: ويتألف جهاز العمل في نظام السونار من سفينة المسح ومحول الطاقة الذي يقع تحت سطح الماء خلف سفينة المسح كما هو موضح في **الشكل (78)**.



شكل (78): مكونات نظام التصوير الجانبي الصوتي

يشبه عمل هذا المحول عمل الرادار الهوائي في الرادار ذي الرؤية الجانبية الذي يرسل نبضات إشعاعية صوتية، ويسجل الأشعة المنعكسة (المرتدة) عن المظاهر الموجودة تحت سطح الماء، والأشعة المرتدة تُحوّل إلى إشارات كهربائية مستمرة، هذه الإشارات تُنقل إلى جهاز التسجيل الموجود على سفينة المسح بوساطة أسلاك توصيل، ثم تُحوّل الإشارات إلى قيم رقمية تُخزّن على شريط مغناطيسي أو تُنقل إلى مسجل للمرئيات يُنتج صوراً ورقية. وهناك نوعان من أجهزة السونار هما:

- **أجهزة سونار قريبة من السطح** Near- Surface Sonar:

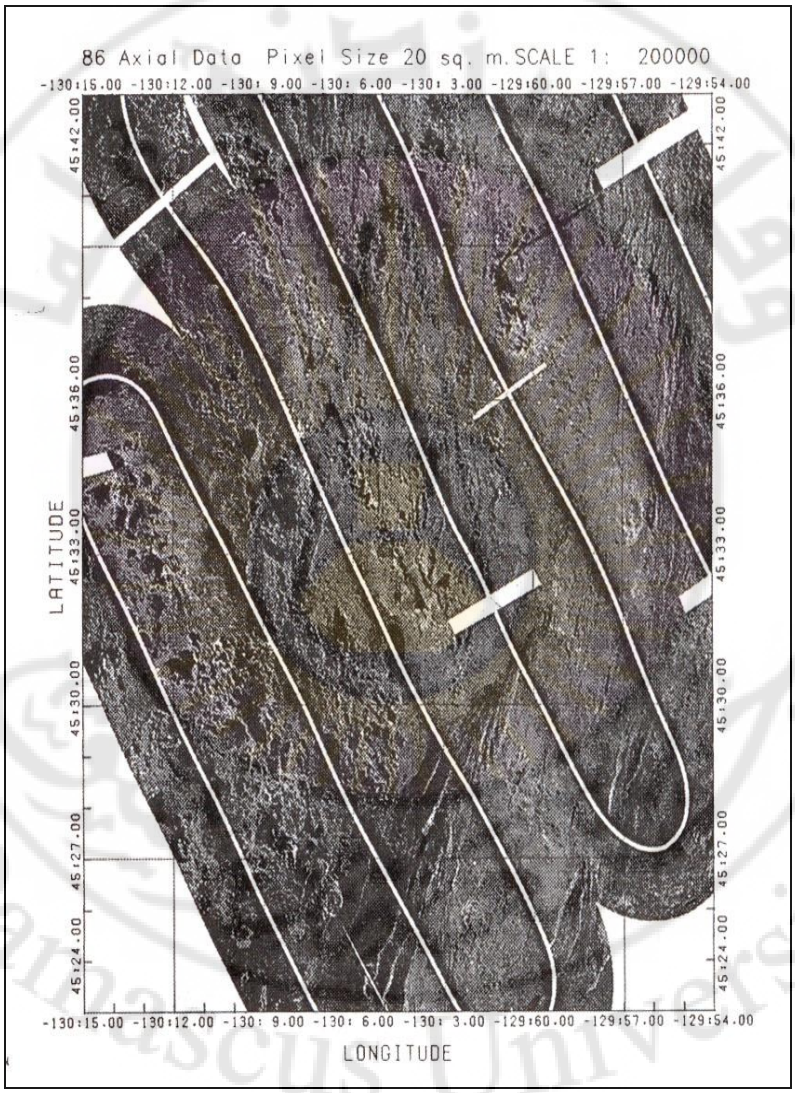
تستخدم محول طاقة يُوضع قرب السطح من أجل التقاط مرئيات لأجزاء كبيرة من قاع المحيط بدرجة تمييز منخفضة. حالياً توجد أجهزة يبلغ فيها عرض خطوط المسح 32 كم على جانبي المحول وتستخدم نبضات ذات تردد 6800 هرتز لا تمتصها مياه البحار.

- **أجهزة سونار قريبة من القاع** Near- Bottom- Sonar :

تعمل هذه الأجهزة في المياه الضحلة وتُوضع محول الطاقة قرب القاع ومن ثمّ يمكن الحصول على مرئيات ذات مساحات صغيرة وبدقة عالية، ويكون عرض خط المسح المصور على جانبي محول الطاقة يساوي 1600كم أو أقل من ذلك، وتستخدم نبضات فوق صوتية قصيرة بتردد (100) ألف هرتز وتدعى هذه الصور صور السونوغراف Sonograph وهي تشبه الصور الملتقطة بالرادار ذي الرؤية الجانبية، (انظر **الشكل 79**).

تؤدي طبوغرافية قاع المحيط دوراً مهماً في مظهر الصور، فالمنحدرات الأمامية التي تقابل محول الطاقة تعكس نسبة أكبر من النبضات الإشعاعية، ومن ثمّ تظهر على الصورة بلون أفتح من المنحدرات الخلفية، والانخفاض القليل في الزوايا ينتج عنه ظلال صوتية كبيرة للتضاريس الجبلية في قاع المحيط، كما أنّ أجزاء القاع الملساء أو المستوية المغطاة بالرمال والوحل تسبب انعكاساً للنبضات الصوتية بعيداً عن محول الطاقة، ومن ثمّ تظهر على شكل مناطق سوداء على الصورة.

كما أن مواد القاع الأكثر خشونة مثل مناطق الصخور الضخمة المغطاة بمياه البحر تعكس الصوت بشكل منتشر أو مبعثر فتظهر على الصورة على شكل مناطق ذات شدة لونية فاتحة.



شكل (79): صورة سونوغراف لساحل Oregon تشبه صورة SLAR

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الخامس

الأقمار الصناعية الخاصة بمسح موارد سطح الأرض

Satellite for Earth Resources Scanning

1.5 – مقدمة

2.5 – مدارات الأقمار الصناعية

3.5 – الأقمار الصناعية الخاصة بالدراسات الميترولوجية NOAA

4.5 – أقمار لاندسات Landsat

5.5 – أقمار سبوت SPOT

6.5 – الأقمار الهندية آيرس IRS

7.5 – أقمار إيرس الأوروبية ERS 1 و 2

8.5 – القمر الصناعي الياباني جيرسJERS

9.5 – القمر الصناعي أورب فيو OrbView

10.5– المشعر آستر Aster

11.5– القمر الصناعي إيكونوس Ikonos

12.5– القمر الصناعي كويك بيرد Quick Bird

13.5– القمر الصناعي كيبرس GEBRES

14.5– القمر الصناعي فورموسات Formosat

15.5– القمر الصناعي كارتوساتCartosat

16.5– القمر الصناعي ألوس ALOS

17.5– الأقمار الصناعية ورد فيو World View

18.5 – أقمار جيو آي GeoEye

19.5– أقمار سانتينل Sentinel

20.5– آلات التصوير الروسية

الفصل الخامس: الأقمار الصناعية الخاصة بمسح موارد سطح الأرض

1.5 – مقدمة

لقد تعددت الأقمار الصناعية الموجودة في الفضاء وتنوعت مهامها من التنبؤ الجوي والاتصالات والملاحة وتحديد المواقع وتقصي الملوثات إلى رصد الكوارث الطبيعية واستكشاف الفضاء. إلا أننا سنركز هنا على الأجهزة والأقمار الصناعية التي كان الهدف منها دراسة موارد سطح الأرض.

من هذه الأقمار نجد مجموعة لاندسات الأمريكي وسبوت الفرنسي وآيرس الهندي وجيرس الياباني وغيرها، لأنها تؤدي دوراً كبيراً في رصد ما يحدث على الكرة الأرضية. ستُذكر مجموعة من هذه الأقمار وفق ترتيب زمني لفترات إطلاقها و توضيح أهم خصائصها.

2.5 مدارات الأقمار الصناعية

إنّ أغلب الأقمار المخصصة لدراسة موارد سطح الأرض تدور في مدارات محددة من حيث الارتفاع عن سطح الكرة الأرضية ومن حيث تزامنها مع دوران الأرض. تصنف هذه المدارات إلى نوعين رئيسين كما في **الشكل (80)**:

1.2.5 مدار متزامن مع الشمسHeliosynchronous أو مدار قطبي Polar

أي يُختار ارتفاع هذا المدار وزاوية ميلانه بشكل تبقى الزاوية بين مستواه واتجاه الشمس ثابتة تقريباً. فالقمر الصناعي الذي يدور في مثل هذا المدار يمر فوق منطقة معينة في كل مرة في الساعة الشمسية المحلية نفسها، ومن ثمّ تكون ظروف الإضاءة متماثلة في المشاهد المتكررة. ويسمى هذا المدار أيضاً المدار القطبي لأنه يمر فوق قطبي الأرض من

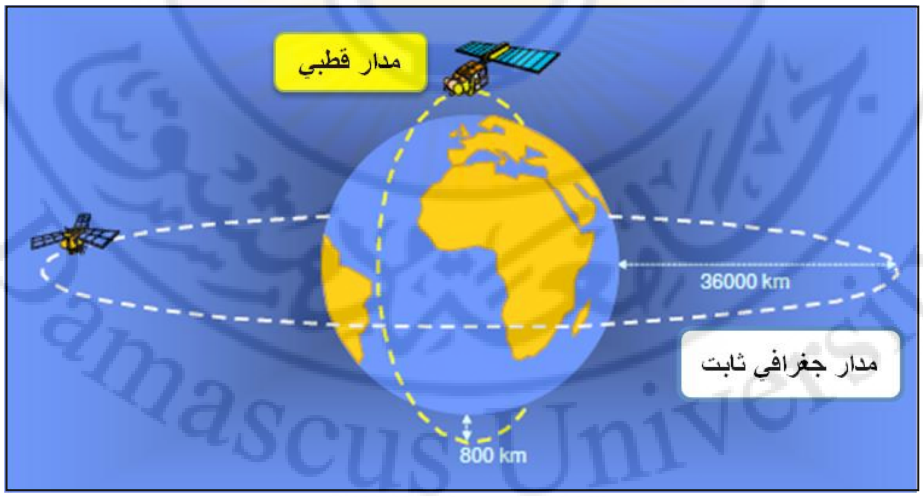
الشمال إلى الجنوب بدرجة ميلان 90 درجة على ارتفاعات منخفضة وسطياً حوالي 800 كم عن سطح الأرض.

لذلك تبرز أهميته في تصوير كامل سطح الأرض بتكرارية زمنية شبه يومية. ومن الأقمار الصناعية التي تدور في مدارات قطبية نذكر Landsat, Spot, Aster.

2.2.5 مدار جغرافي ثابت Geostationary

هو مدار دائري الشكل حول الأرض ويكون على ارتفاعات عالية حوالي 36 ألف كم فوق خط الاستواء مما يسمح بإمكانية رؤية نصف الكرة الأرضية بالكامل. وهو من المدارات المتزامنة مع دوران الأرض لأن دورة القمر الصناعي في مثل هذا المدار تساوي دورة الأرض حول نفسها في الاتجاه نفسه، لذلك يبدو القمر كأنه في موقع ثابت بالنسبة لشخص ما على سطح الأرض.

ويمر فوق منطقة معينة بتكرارية زمنية عالية (مثلاً كل 30 دقيقة) مثل مدارات أقمار الاتصالات والأرصاد الجوية والمناخية (مثل METEOSAT)



شكل (80): أنواع مدارات الأقمار الصناعية

3.5– الأقمار الصناعية الخاصة بالدراسات الميترولوجية نوا NOAA :
(National Oceanic and Atmospheric Adminisration)

نوا هي مجموعة من الأقمار الصناعية أطلقتها شركة أمريكية وذلك منذ بداية ثمانينيات القرن الماضي لدراسة أحوال الطقس ورصد المناخ والتغيرات المناخية والتحذير من العواصف وإدارة مصائد الأسماك بالإضافة إلى إدارة الموارد الساحلية والبحرية لتلبية الاحتياجات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية للدول. تتميز هذه الأقمار بأن مداراتها متزامنة مع الشمس ومنحرفة عن القطب وتحلق على ارتفاع 1450 كم ولقد كانت تقدم معلومات ميترولوجية مرتين في اليوم، ويمكن الحصول على المعلومات الميترولوجية كل ساعة بقدرة تمييز اكم في المجال تحت الأحمر و0,5 كم في المجال المرئي وفي مجالات طيفية عدة منها:

- الأحمر في المجال المرئي بطول يتراوح بين 0,6- 0,7 ميكرومتر.
- المجال الحراري ويتراوح طوله بين 10,5-12,5 ميكرومتر.

ومن أشهر الأجهزة المحملة على أقمار نوا نذكر الراديومتر المطوّر عالي الدقة Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) الذي يسجل الأشعة في ستة مجالات طيفية في القسم المرئي وتحت الأحمر. وتُستخدم بياناته في المجال المرئي وتحت الأحمر القريب في دراسة الغطاء النباتي والغيوم والثلج والجليد، بينما تستخدم البيانات الحرارية منه في دراسة درجة حرارة الأرض والمحيط والخصائص الإشعاعية للغيوم[11].

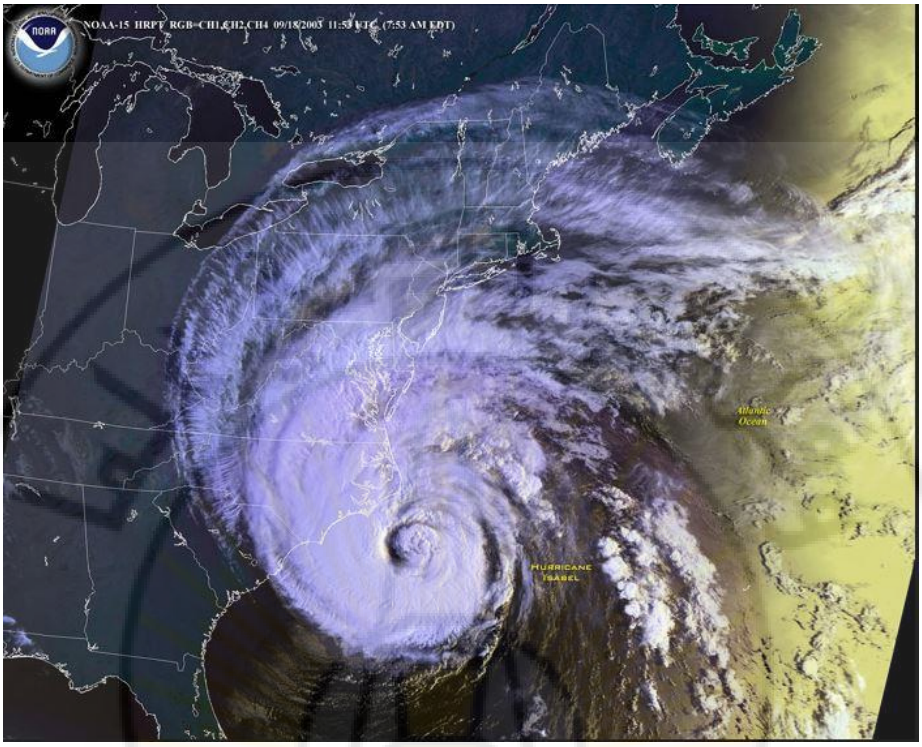
وقد أرسلت سلسلة من هذه الأقمار وفق برامج فضائية عدة لوكالة ناسا أعدّت لاستكمال تصوير الأرض والرصد المستمر للتغيرات المناخية ودراسة خصائص البحار والمحيطات وسبر أعماق الفضاء. نذكر من أولى هذه البرامج، برنامج Polar-

[11] https://www.nesdis.noaa.gov

Orbiting Enviromental Setellites (POES) منذ عام 1970م للأقمار البيئية ذات المدار القطبي التي تدور 14 مرة يومية حول الأرض لدراسة أحوال الطقس على مدى طويل. وأيضاً برنامج GOES منذ عام 1975م للأقمار ذات المدار الجغرافي لمتابعة رصد الطقس. وغيرها من البرامج الفضائية المستمرة في إطلاق المزيد من الأقمار. انظر **الجدول (8) والشكل (81)**.

جدول (8): لمحة عن أقمار NOAA وفق البرامج الفضائية لوكالة ناسا

اسم البرنامج	نوع القمر	فترة الإطلاق
POES	من NOAA-1 حتى NOAA-19	1970 2009
GOES	من GOES-1 حتى GOES-19	1975 متوقع في 2025
JASON	من JASON-1 JASON-2 حتى JASON-3	2001 2008 2016
DSCOVR	DSCOVR	2015
JPSS	Suomi-NPP من JPSS-1 (NOAA-20) JPSS-2 (NOAA-21) JPSS-3 (NOAA-22) حتى JPSS-4 (NOAA-23)	2011 2017 متوقع في 2022 متوقع في 2026 متوقع في 2031
FORMOSAT/ COSMIC	COSMIC-2	2019

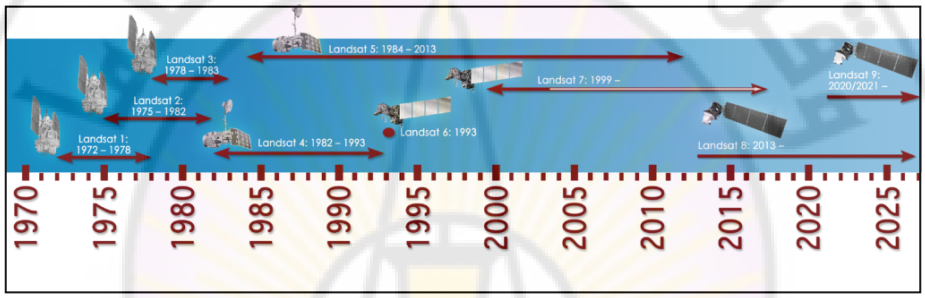


شكل (81): صورة بالأشعة تحت الحمراء لإعصار إيزابيل ملتقطة بوساطة NOAA-15 في 18 أيلول 2003

4.5– أقمار لاندسات Landsat Satellite:

ظهرت هذه الأقمار نتيجة لتعاون وزارة الداخلية الأمريكية وإدارة الطيران والفضاء الأمريكية حيث وضعت الدراسات العلمية حول إمكانية استخدام تقنية الأقمار الصناعية في الكشف عن موارد سطح الأرض، ثم وضعت خطة لإطلاق سلسلة من الأقمار الصناعية أطلق عليها أولاً إيرتس ERTS-A.1 وتم إطلاق إيرتس-A في الشهر السابع من عام 1972م باستخدام صاروخ دلتا Thor-Delta واستمر العمل فيه حتى كانون الثاني من عام 1978م وهو غير مأهول صُمّم للحصول على معطيات عن موارد سطح الأرض بأطياف متعددة ومتكررة.

أعادت إدارة الطيران والفضاء الأمريكية (NASA) ناسا تسمية هذا البرنامج باسم برنامج لاندسات قبل إطلاق القمر الثاني لذلك أعيد تسمية إيرتس A بـ لاندسات-1. تم إطلاق لاندسات-2 في 22 كانون الثاني عام 1975م وتتابعت هذه السلسلة حتى وصلت حالياً إلى تسعة أقمار، ومازال يعمل في الفضاء منها حتى الآن لاندسات 7 و8 و9. يبين **الشكل (82)** المخطط الزمني لإطلاق أقمار لاندسات منذ بداية السلسلة.



شكل (82): المخطط الزمني لإطلاق أقمار سلسلة لاندسات

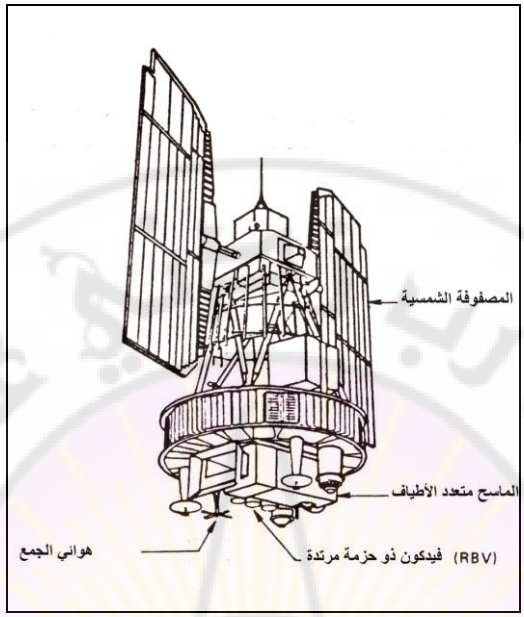
حملت هذه الأقمار أنواعاً مختلفة من المشعرات، اختلفت باختلاف المراحل. في البداية حملت (**آلات تصوير الفيديو ذات الحزمة المرتدة Return Beam Vidicon (RBV)** ثم تلتها **ماسحات متعددة الأطياف Multi spectral Scanner (MSS)** على متن أقمار لاندسات من 1 حتى 5 ثم ماسح غرضي **Thematic Mapper (TM)** على الأقمار 4 و 5، وماسح غرضي محسّن **Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)** على متن الأقمار 6 و7.

وأخيراً في لاندسات-8 وُضِع مشعر شغال لتصوير الأرض **Operational Land Imager (OLI)** ومشعر حراري **Thermal Infrared Sensor (TIRS).**

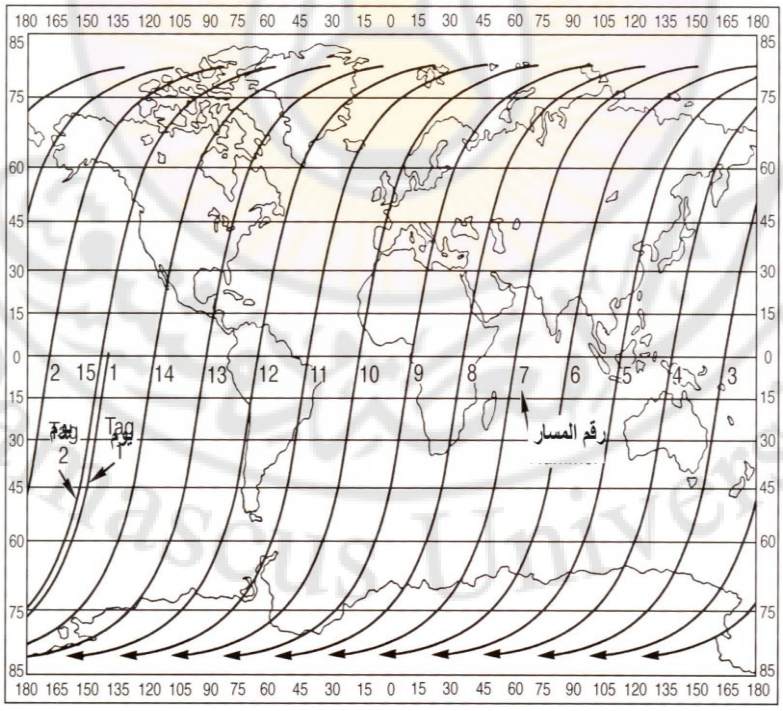
من الجدير بالذكر أن أقمار لاندسات من 1 حتى 3 كانت متشابهة في خصائصها، حيث يبلغ ارتفاعها 917 كم، ووزنها 953 كغ وتدور في مدارات دائرية من خلال خطوط العرض القطبية من 82 درجة حتى 90 درجة. تدور دورة كاملة حول الأرض كل 18 يوماً أي 20 مرة سنوياً. ترسم 14 مساراً خلال اليوم الواحد وتمر مداراتها ضمن مجال يبعد 9 درجات عن القطبين الشمالي والجنوبي. وتقطع كل مدار في (103) دقائق، انظر **الشكلين (83 و84)**. أما سرعتها الأرضية فهي 6046 كم/ثا.

من الملاحظ أن هذه المسارات تقطع خط الاستواء مشكلة زاوية قدرها 90 درجة وتبعد عن بعضها 2760 كم وتقوم بتغطية مساحة قدرها 185كم×185كم. رغم ذلك فإن مدارها يتقدم نحو الغرب قليلاً في كل يوم جديد ليتجاوز مدار اليوم السابق بقليل، وهذا نجم عنه تراكب (تغطية) الصور مع صور اليوم السابق ويكون التراكب أعظمياً في خط العرض 81 درجة شمالاً وجنوباً حيث تصل التغطية إلى 85% في القطب بينما الحدود الدنيا تكون على خط الاستواء ولا تزيد على 7,6%. تكون مداراتها القطبية متزامنة مع الشمس تسمح للقمر بالمرور فوق العروض الوسطى في الوقت نفسه من منتصف النهار من كل يوم.

رغم أن المدارات المتزامنة مع الشمس توفر ظروفاً متكررة للإضاءة فإن هذه الظروف تختلف حسب الفصل والمكان حيث تختلف أشعة الشمس التي تصطدم بالأرض حسب اختلاف درجة العرض والزمن، فزاوية ارتفاع الشمس تتغير على طول مدار واحد خلال فترة واحدة، على سبيل المثال في شهر كانون الثاني تتغير من 4 درجة في ألاسكا حتى 45 قرب خط الاستواء.



شكل (83): القمر الصناعي لاندسات-1



شكل (84): الحركة اليومية للاندسات 1،2،3

1.4.5– خصائص لاندسات 1 و2 و3 :

يتشابه لاندسات–1 مع لاندسات–2 ولاندسات–3 من حيث الأجهزة المحمولة على متن كل منها وتتألف هذه الأجهزة من:

أ– **أجهزة فيدكون ذات حزمة مرتدة** وتقدم معلومات من خلال ثلاث أقنية طيفية.

أما خصائصها فهي:

1- تحمل آلات تصوير تشبه آلات التصوير التلفزيوني تقوم بتصوير مساحة من الأرض أبعادها 185×185كم بقدرة تمييز 80م.

2- تتحسس هذه الأجهزة الأشعة المرئية في المجالات: الأخضر، وطول موجته0.47 –0.57 ميكرومتر والأحمر بطول موجي 0,58-0,68 ميكرومتر .بالإضافة إلى مجال تحت الأحمر القريب 0,69– 0,83 ميكرومتر.

تتميز الصور الناتجة عن الحزمة المرتدة بدقتها بالمقارنة بالماسح متعدد الأطياف المحمول على لاندسات. أما على لاندسات–3 فقد عُدّلت الحزمة المرتدة بحيث يتم التصوير في مجال طيفي عريض واحد بدلاً من الثلاثة ولكن بقدرة تمييز أكبر تصل إلى 30 م، أما المجال الطيفي فيتراوح بين 0,50–0,75 من الأخضر وحتى تحت الأحمر القريب.

ب– **المواسح متعددة الأطياف MSS** قدمت معلومات في أربعة مجالات طيفية:

- **اثنان في المجال المرئي** هما:

المجال الأخضر: 0,5–0,6 ميكرو متر

المجال الأحمر : 0,6–0,7 ميكرو متر

- **واثنان في المجال تحت الأحمر القريب** هما:

تحت الأحمر القريب: 0,7–0,8 ميكرو متر

تحت الأحمر القريب: 0,8- 1,1 ميكرو متر

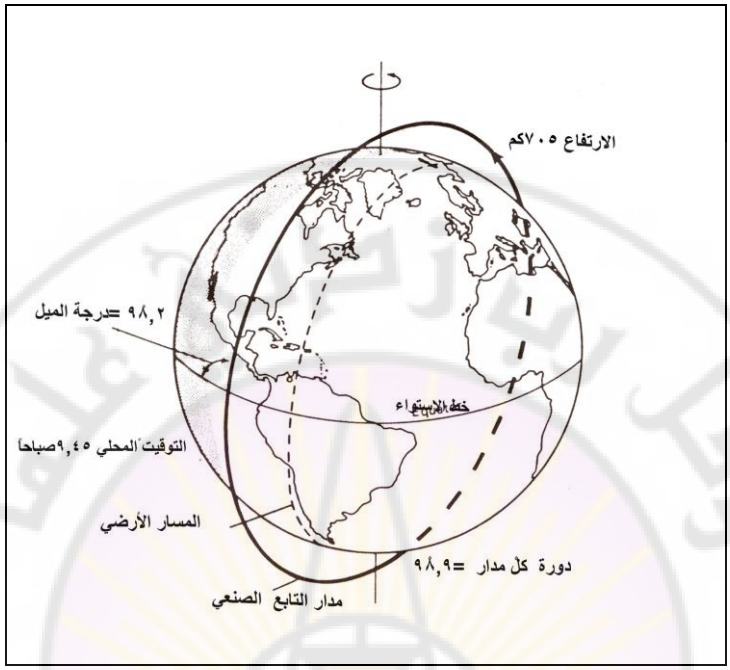
تعطي صور الماسح متعدد الأطياف مساحة أبعادها 185×185كم في لاندسات 1و2و3. أما في لاندسات-3 فقد أُضيف مجال تصوير حراري يتراوح طوله الموجي بين 10,4-12,6 ميكرومتر، كما يمكن أن تُعالج معطياته بوساطة الحاسوب لأنه يقدم بيانات رقمية Digital data.

2.4.5- خصائص لاندسات 4 و5:

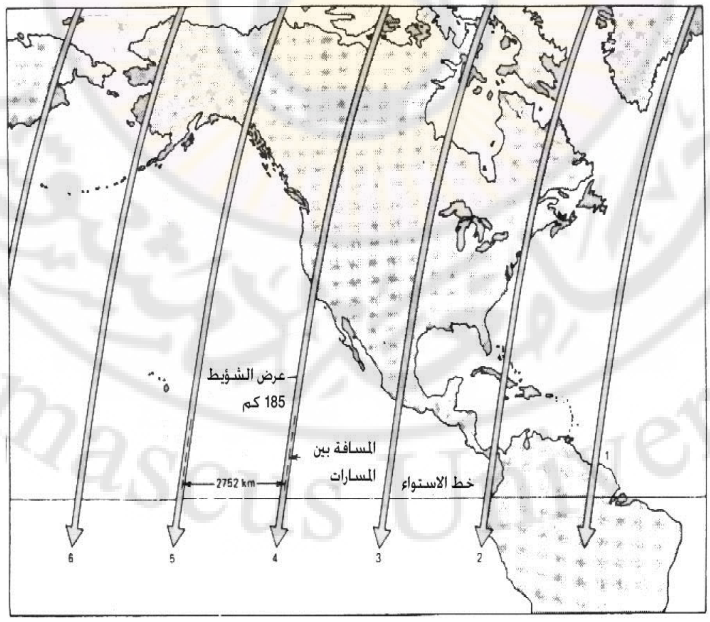
أُطلق هذان القمران بين عامي 1982م-1984م بوساطة مكوك الفضاء. يختلف هذان القمران عما سبقهما في الشكل والأجهزة المحمولة إلا أنها تتشابه معها في مداراتها قطبية ودائرية متزامنة مع الشمس إضافة إلى تقليل ارتفاعهما من 917 كم إلى 705 كم من أجل تحسين قدرة التمييز.

استغرقت دورة كل مدار 99 دقيقة ومن ثمّ فإن القمر كان يدور 14,5 مرة كل 24 ساعة ويغطي الأرض كل 16 يوماً بشكل متعاقب. صُنّفت صور لاندسات 4 و 5 وفق مجموعة ممرات لنظام مرجعي عالمي (WRS-2) يختلف عن النظام (WRS-1) الذي استُخدم في المعطيات المرجعية لأقمار لاندسات 1 و2 و3. ويتألف النظام المرجعي لقمري لاندسات 4 و5 من 233 ممراً تُرقّم من 001 إلى 233 من الشرق نحو الغرب حيث يجتاز الممر الأول (001) خط الاستواء في خط الطول 64 درجة و36 دقيقة غرباً أي إن الصف رقم 60 يتوافق مع الاستواء عند عقدة المدار النازل ويبدأ الصف 1 من كل ممر بخط عرض 80 درجة 47 دقيقة شمالاً. انظر **الأشكال (85- 86-87)**.

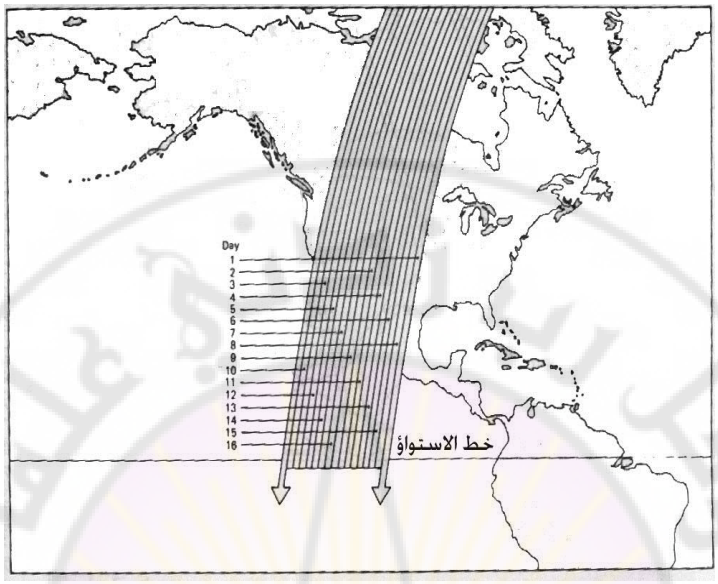
من الجدير بالذكر أن لاندسات-4 توقف عمله عام 1993م بينما استمر لاندسات-5 بتصوير الأرض خلال 28 سنة متتالية حتى توقف العمل به في بداية عام 2013م، وبذلك سجل رقماً قياسياً في تاريخ الأقمار الصناعية ودخل في كتاب غينيس للأرقام القياسية.



شكل (85): مدار قمري لاندسات 4 و 5 المتزامن مع الشمس



شكل (86): المسافة بين المسارات المتجاورة في لاندسات 4 و5 تدور الكرة الأرضية مسافة 2752 باتجاه الشرق في منطقة خط الاستواء خلال الفترة الفاصلة بين مرورين (عن NASA)



شكل (87): أوقات تغطية المسارات المتجاورة للاندسات 4 و5
تم تصوير المناطق المتجاورة بفاصل زمني مقداره 7 أيام (عن NASA)

وهناك أجهزة حملتها أقمار لاندسات 4 و5 إلى الفضاء الخارجي وهي:

أ- جهاز ماسح متعدد الأطياف (MSS)، لقد استُخدم هذا الجهاز في الأقمار السابقة وذلك للمحافظة على تتابع استمرارية الحصول على البيانات المطلوبة في دراسة التغييرات البيئية طويلة الأمد.

كما أن المساحة الأرضية التي تُصوّر هي 185×170 كم كما في الأقمار السابقة مع قدرة تمييز أرضية تبلغ 57×79 م، إضافة إلى المجالات الطيفية الأربعة المستخدمة سابقاً.

ب- الماسح الغرضي Thematic Mapper (TM)

يقوم هذا الماسح بتسجيل الأشعة في /7/ مجالات طيفية

ثلاثة في مجال الأشعة المرئية هي:

1. المجال الأزرق: طول موجته 0,45-0,52 ميكرو متر
2. المجال الأخضر: طول موجته 0,51-0,60 ميكرو متر
3. المجال الأحمر: طول موجته 0,63-0,69 ميكرو متر

وأربعة في مجال الأشعة تحت الحمراء وهي:

1. مجال الأشعة تحت الحمراء القريبة: طول موجتها 0,76–0,90 ميكرو متر
2. الأشعة تحت الحمراء المتوسطة: طول موجتها 1,55–1,75 ميكرو متر
3. الأشعة تحت الحمراء المتوسطة: طول موجتها 2,08–2,35 ميكرو متر
4. ومجال في الأشعة تحت الحمراء البعيدة (المجال الحراري) طول موجتها 10,4 – 12,5 ميكرو متر.

تبلغ قدرة التمييز الأرضي للماسح الغرضي في المجالات الستة الأولى 30×30 م أما في المجال السابع الحراري تصل إلى 120 م إضافة إلى ذلك فقد حُسّنت دقة تحديد الموقع الإحداثي (الجيوديزي) للمعطيات.

إن حجم الخلايا (العناصر Pixels) في معظم معطيات الراسم الغرضي أبعادها 28,5×28,5 م تُسجل بمسقط مركاتور المائل ومن ثمّ فهي مناسبة لعمليات الإسقاط على مسقط مركاتور المستعرض العالمي UTM أو المسقط الستيريوغرافي القطبي.

3.4.5 – خصائص لاندسات 6 و 7 :

تم إطلاق لاندسات–6 في عام 1993م على ارتفاع 705 كم بمدار قطبي متزامن مع الشمس. ويغطي مساحة من الأرض مقدارها 185×170 كم في كل لقطة، كما وصلت تكراريته الزمنية لكل نقطة من نقاط سطح الأرض إلى 16 يوماً، حمل هذا القمر:

الماسح الغرضي المحسن (+ETM) Enhanced Thematic Mapper Plus

يقوم الماسح **+ETM** بتسجيل الأشعة في ثمانية مجالات طيفية، السبعة الأولى مشابهة للماسح الغرضي TM، أما المجال الثامن فهو المجال البنكروماتي وطول موجته يتراوح بين 0,52–0,90 ميكرو متر، كان من المفترض أن يقدم معطيات بقدرة تمييز

تصل إلى 15م، **لكنه فشل في مهمته ولم يقدم أية معلومات لأنه لم يستطع أن يصل إلى المدار المحدد له وضاع في الفضاء الخارجي.**

أما لاندسات-7 فقد أُطلق عام 1999م وهو متشابه مع لاندسات-6 في خصائصه والمجالات الطيفية التي يقوم بتسجيل الأشعة فيها، إلاّ أنّه قد أُضيفت تحسينات على المجال الحراري في لاندسات-7 من حيث معايرة المشعر وأيضاً من حيث زيادة دقة التمييز المكاني فيه لتصل إلى 60 م. وتبلغ درجة ميل مداره عن خط الاستواء 98,2 درجة وتستغرق دورة القمر في كل مدار 98,8 دقيقة، ويجتاز خط الاستواء في الساعة 9,45 صباحاً حسب التوقيت المحلي. انظر **الجدولين 9 و10** اللذين يبينان الخصائص الفنية لأقمار لاندسات 1-7 **والأشكال (88-89-90)**

4.4.5 – خصائص لاندسات 8 و 9:

أُطلق لاندسات-8 في 11 شباط 2013 على ارتفاع 705 كم بوساطة صاروخ Atlas-V. وهو يدور في مدار متزامن مع الشمس ويبلغ عرض شريط المسح 185 كم، ويملك تكرارية زمنية مماثلة لسابقيه (لاندسات 6 و7) أي كل 16 يوماً يصور الأرض كاملة. وتصنف صور لاندسات-8 وفق النظام المرجعي العالمي (WRS-2) مثل لاندسات 6 و7.

يحمل هذا القمر نوعين من الأجهزة:

أ- مصوّر الأرض المُشغّل Operational Land Imager (OLI)

وهو مشعر متعدد الأطياف يضم تسعة مجالات طيفية تتألف من المجالات السابقة الموجودة بالقمر لاندسات-7.

بالإضافة إلى مجالين جديدين:

- الأول في المجال فوق الأزرق طول موجته 0,43-0,45 ميكرومتر وهو مفيد لدراسة الغبار الجوي وفي الدراسات الساحلية.
- والثاني في المجال تحت الأحمر المتوسط (السيروس) طول موجته 0,45-0,51 ميكرومتر وهو مفيد للكشف عن سحب السيروس.

ب- **المشعر تحت الأحمر الحراري Thermal Infrared Sensor (TIRS)**

و يضم مجالين حراريين:

- الأول: طول موجته 10,6-11,2 ميكرومتر
- الثاني: طول موجته 11,5-12,5 ميكرومتر

يوضح **الجدول (11)** خصائص المجالات الطيفية في لاندسات-8 من حيث طول موجاتها ودقتها المكانية.

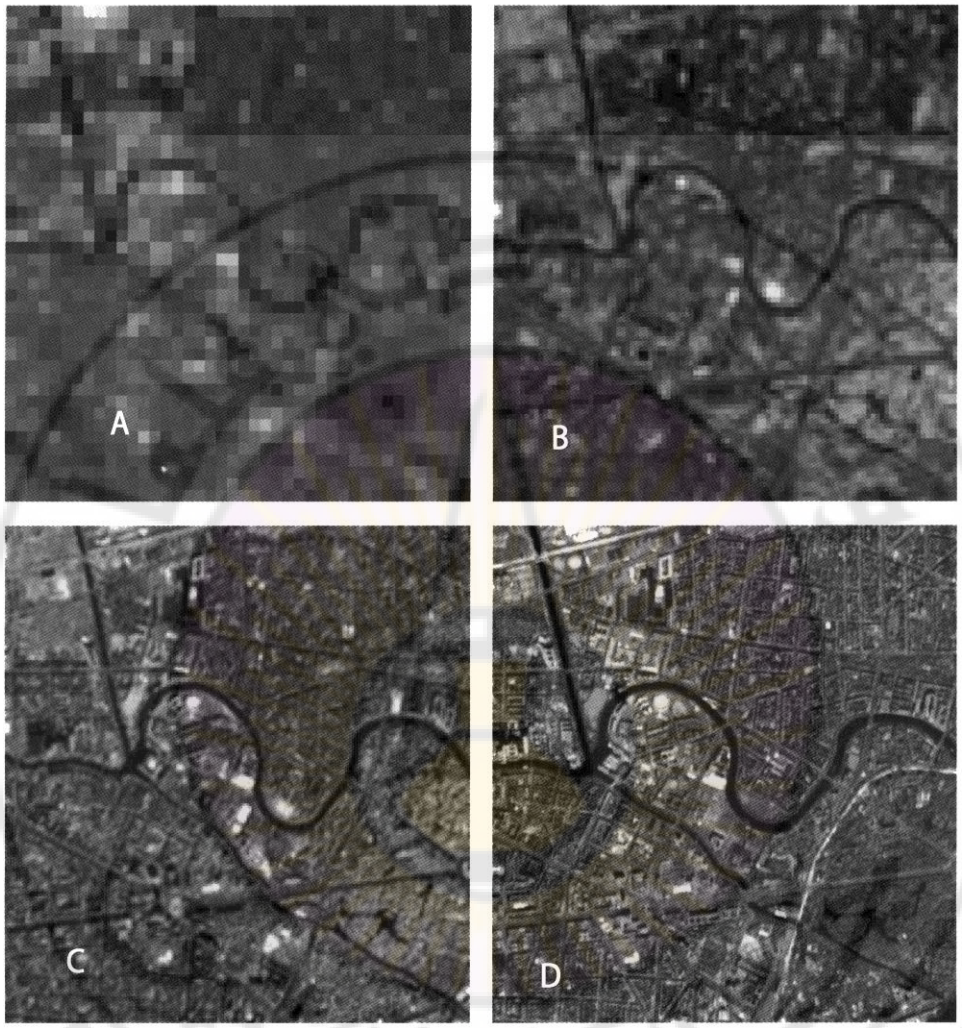
يُعدّ القمر لاندسات-9 أحدث أقمار لاندسات الأمريكية حيث تم إطلاقه في 27 أيلول 2021، وهو يشابه لاندسات-8 من حيث التصميم وقدرة التصوير العالية.

كما يحمل لاندسات-9 جهازي تصوير (**OLI**-2 و**TIRS** -2) التي تغطي 11 مجالاً طيفياً وهي مشابهة للتي يحملها لاندسات-8.

وستُتابع عائلة لاندسات مهمتها مع قمر جديد (Landsat Next) المتوقع إطلاقه في 2030/2029. تهدف المهمة القادمة إلى تسجيل 25 مجالاً طيفياً لاختبار تطبيقات جديدة في دراسة جودة الماء وتوتر الغطاء النباتي وصحة التربة والغطاء الثلجي وغيرها.

جدول (9): الخصائص الفنية لأقمار لاندسات من 1–7

الخصائص	لاندسات من 1– 3	لاندسات 4 و 5	لاندسات 6 و 7
المشعر	ماسح متعدد الأطياف MSS وآلة تصوير الحزمة المرتدة RBV	متعدد الأطياف MSS وماسح غرضي TM	ماسح غرضي محسن ETM
عام الإطلاق	1972، 1975، 1978	1982، 1984	1993، 1999
ارتفاعه عن سطح الأرض	917كم	705كم	705كم
التكرارية الزمنية	18 يوم	16 يوم	16 يوم
عرض شريط المسح	185كم	185كم	185كم
قدرة التمييز بالمتر	(80 × 80)	(30×30) TIR (120×120)	(30×30) PAN (15 ×15)و TIR (60×60)
الأقنية الطيفية وطولها بالميكرومتر	RBV: (1) 0,575-0,475 (2) 0,680-0,580 (3) 0,830-0,695	MSS : (1) 0,6-0,5 (2) 0,7-0,6 (3) 0,8-0,7 (4) 101-0,8	ETM: (1) 0,52-0,45 (2) 0,60-0,52 (3) 0,69- 0,63 NIR: 0,90-0,76 MIR: 1,75-1,55 MIR: 2,35-2,08 PAN: 0,90-0,52
	MSS : (1) 0,6-0,5 (2) 0,7-0,6 (3) 0,8- 0,7 (4) 1,01-0,8	TM : الأزرق 0,52- 0,45 الأخضر: 0,60-0,51 الأحمر: 0,69-0,63 NIR: 0,90-0,76 MIR: 1,75-1,55 MIR: 2,32-2,08	
الماسح الحراري	12,6-10,4	12,6-10,4	12,5-10,4



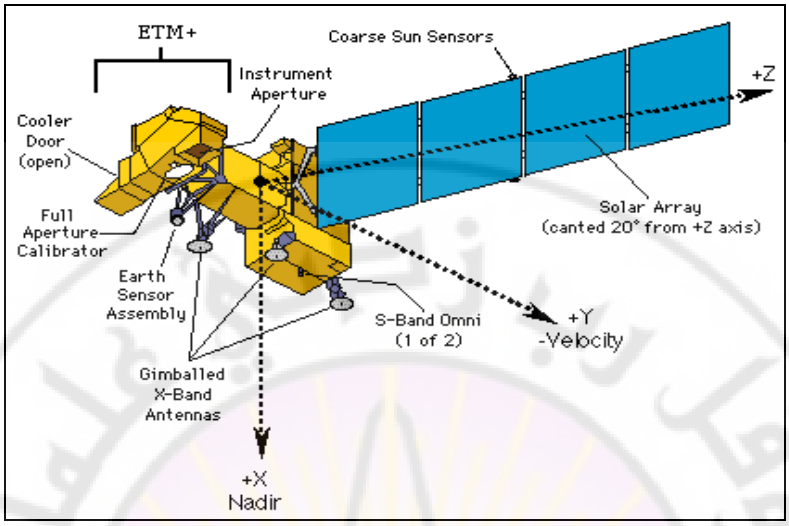
شكل (88): صور لجزء من مدينة برلين بمقياس 1:50000

A : صورة ملتقطة بالماسح متعدد الأطياف MSS بدقة تمييز 80 م

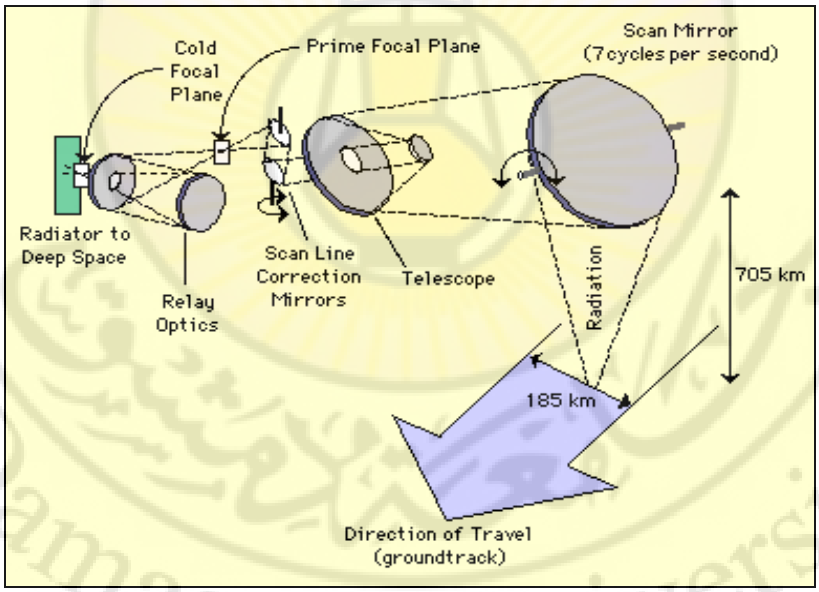
B: صورة ملتقطة بالماسح الغرض TM بدقة تمييز 30 م

C: صورة ملتقطة بالماسح الغرضي المحسن ETM بدقة تمييز 15 متر

D : صورة ملتقطة بالماسح الهندي آيرس IRS–Pan بدقة تمييز 5,7 متر



شكل (**89**): القمر الصناعي لاندسات–**7** والمواسح التي يحملها



شكل (**90**): مكونات القمر لاندسات–**7**

جدول (**10**): التغطية الجانبية في كل خط مسح للقمر الصناعي لاندسات–**7**

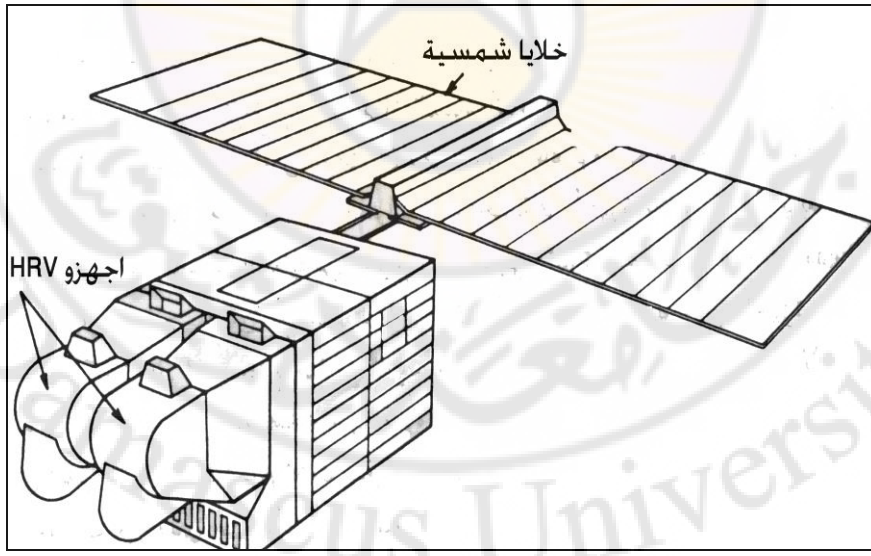
درجة العرض	التغطية الجانبية %
0	7,3
10	8,7
20	12,9
30	19,7
40	29,0
50	40,4
60	53,6
70	68,3
80	83,9

جدول (**11**): الخصائص الطيفية والمكانية للقمر لاندسات–**8**

الرقم	المجال الطيفي	طول الموجة بالميكرومتر	الدقة المكانية بالمتر
1	المجال فوق الأزرق	0,43 - 0,45	30
2	المجال الأزرق	0,45 - 0,51	30
3	المجال الأخضر	0,53 - 0,60	30
4	المجال الأحمر	0,63 - 0,68	30
5	المجال تحت الأحمر القريب	0,84 - 0,88	30
6	المجال تحت الأحمر المتوسط 1	1,56 - 1,66	30
7	المجال تحت الأحمر المتوسط 2	2,10 - 2,30	30
8	المجال البنكروماتي	0,50 - 0,68	15
9	مجال السحب (السيروس)	1,36 - 1,39	30
10	المجال تحت الأحمر الحراري 1	10,6 – 11,2	100
11	المجال تحت الأحمر الحراري 2	11,5 – 12,5	100

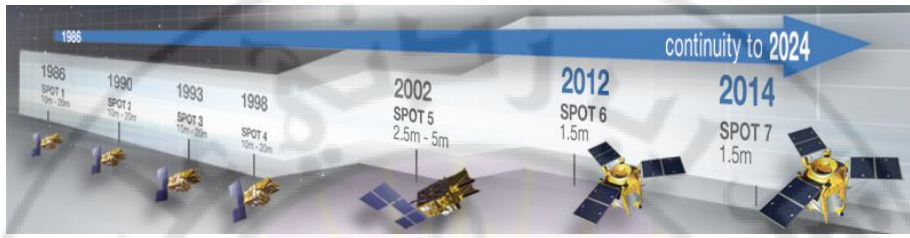
5.5 – أقمار سبوت SPOT Satellite:

سبوت هو قمر فرنسي أُطلق من قبل وكالة الفضاء الفرنسية بمشاركة كل من السويد وبلجيكا وصُمّم لمراقبة الأرض (SPOT: Satellite pour l'Observation de la Terre). أُطلق أول قمر من هذه السلسلة في شباط عام 1986م بوساطة صاروخ إيريان (Ariane) يبلغ ارتفاعه 832 كم وهو متزامن مع الشمس ويتم مساره في 101 دقيقة ويغطي سطح الأرض كل 26 يوماً، والمساحة المصورة هي 60×60 كم. تبلغ درجة ميله 98,7 درجة ويجتاز خط الاستواء في الساعة 10,30 صباحاً حسب التوقيت المحلي للشمس، يتأخر قليلاً عند اجتيازه لخطوط العرض الشمالية ويبكر قليلاً عند اجتيازه لخطوط العرض الجنوبية إذ يجتاز مناطق خط العرض 40 درجة شمالاً في الساعة الحادية عشرة صباحاً ومناطق تقع على خط العرض 40 درجة جنوباً عند الساعة العاشرة صباحاً. انظر **الشكل (91)**.



شكل (91): القمر الصناعي سبوت–1

أطلقت مجموعة أقمار أخرى ضمن عائلة سبوت على فترات مختلفة كان آخرها سبوت-7. يبين **الشكل (92)** المخطط الزمني لإطلاق أقمار سبوت منذ بداية السلسلة.



شكل (92): المخطط الزمني لإطلاق أقمار سلسلة سبوت

1.5.5 – أقمار الجيل الأول: سبوت 1 و2 و3

أُطلق سبوت-1 في 22 شباط عام 1986م بينما أُطلق سبوت-2 في 22 كانون الثاني من عام 1990م واستمر العمل به حتى عام 2009م (انظر **الشكل 93**). وقد أُطلق سبوت-3 عام 1993م وانتهى العمل به بعد ثلاث سنوات أي في عام 1996م.

شكل (93): صورة بنكروماتية للخليج العربي ملتقطة بوساطة سبوت-2 بقدرة تمييز 10 متراً

حملت هذه الأقمار أجهزة مسح بدقة تمييز عالية في المجال المرئي، وهناك نوعان منها (انظر **الجدول 12**):

أ- ماسح مرئي ذو تمييز عال High Resolution Visible HRV1

صُمّم هذا الماسح لتسجيل الأشعة بالشكل البنكروماتي وقدرة تمييز 10 م في مجال طيفي يتراوح بين 0,50-0,73 ميكرو متر.

ب- ماسح مرئي ذو تمييز عالٍ ملون HRV2

قدرة التمييز الأرضية في هذا الماسح تبلغ 20 م ويقوم بتسجيل الأشعة في المجالات الطيفية الآتية:

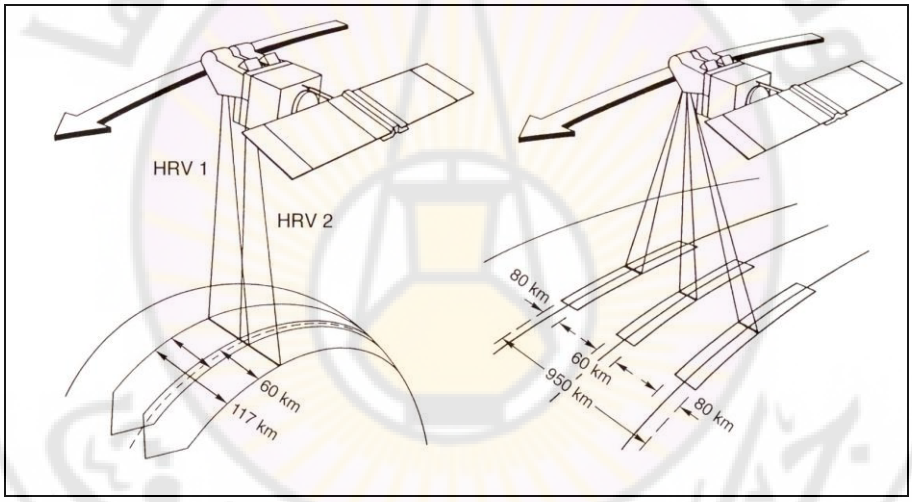
- المجال الأخضر بطول 0,50 -0,59 ميكرو متر .
- المجال الأحمر بطول 0,61-0,68 ميكرو متر .
- المجال تحت الأحمر القريب بطول 0,78-0,89 ميكرومتر

جدول (12): الخصائص الفنية للقمر سبوت 1و2و3

الخصائص	SPOT – HRV(XS) متعدد الأطياف	SPOT_HRV(P) بنكروماتي
سنة الإطلاق	1986	
الارتفاع	832 كم	
التكرارية الزمنية	26 يوم	
عرض شريط المسح	(60×60) كم	
قدرة التمييز المكانية	(20×20) م	(10×10) م
الأقنية الطيفية وطولها بالميكرومتر	(1) 0,50-0,59 (2) 0,61 – 0,69 (3) 0,78 – 0,89	0,51 – 0,73

ما يميز هذا القمر هو تجميع معطياته البنكروماتية مع المعطيات الملونة في الوقت نفسه، إضافة إلى ذلك فهو يتمتع بإمكانية التصوير بالأبعاد الثلاثة أي يقدم صوراً مجسمة.

يقوم كل من الجهازين بمسح سطح الأرض بخطي مسح متجاورين عرض كل منهما 60 كم والتداخل بينهما 3 كم، ومن ثمّ فإن عرض خط الاستشعار الذي يقوم فيه سبوت في وقت واحد هو 117 كم حيث يتم المسح بالكنس المتقدم Push broom الذي يختلف عن المسح المستخدم في أقمار لاندسات، انظر **الشكل (94)**.



شكل (94): طريقة التقاط الصور بوساطة القمر سبوت.

في الجهة اليسرى تصوير عمودي وعرض الشريط المصور 117 كم يجمع خطي مسح متجاورين. وفي الجهة اليمنى تصوير مائل عرض الشريط المصور من كل جهة 80 كم

2.5.5 – أقمار الجيل الثاني: سبوت–4

أُطلق سبوت–4 عام 1998م ليستمر العمل به حتى منتصف عام 2013م حيث انتهى عمله بعد 15 سنة. وهو يتشابه مع أقمار الجيل الأول من حيث الدقة المكانية والطيفية ولكن أُجري تعديل في تصميم الماسح المحمول على متنه ليصبح **High Resolution Visible and Infra-Red (HR-VIR)** حيث أُضيف مجال

طيفي هو المجال تحت الأحمر المتوسط ويتراوح طوله بين 1,58-1,75 ميكرومتر لاستخدامه في تحسين قدرة التمييز في المعطيات الناتجة عن مسح الغطاء النباتي. انظر **الجدول (13)**.

3.5.5 – أقمار الجيل الثالث: سبوت–5

أطلقت فرنسا سبوت–5 في عام 2002م ومع إطلاقه بدأت الفترة المتقدمة التي حُصل فيها على صور عالية الدقة المكانية، حيث جُهّز سبوت–5 بماسح هندسي عالي الدقة **High Resolution Geometrical (HRG)** الذي يقوم بالتصوير البنكروماتي في مجال طيفي طوله 0,48-0,71 ميكرومتر بقدرة تمييز 2,5 م و 5 م.

إضافة إلى التصوير المتعدد الأطياف في المجال المرئي ضمن القناة الخضراء بطول 0,50-0,59 ميكرومتر والقناة الحمراء بطول 0,61-0,68 ميكرومتر والقناة تحت الأحمر القريب بطول 0,78-0,89 ميكرومتر بقدرة تمييز 10 م. كما يقدم صوراً في المجال تحت الأحمر المتوسط بطول 1,58-1,75 ميكرومتر بقدرة تمييز 20 م، انظر **الجدول (13)، والشكل (95)**.

ويمكن الحصول على صور ستيريوسكوبية بفضل الماسح الستيريوسكوبي العالي الدقة **High Resolution Stereoscopic (HRS)**. وقد استمر هذا القمر بالعمل حتى عام 2015م حيث توقف عن الخدمة بعد 13 عاماً.

جدول (13): خصائص الأقمار الصناعية الفرنسية سبوت من 1–5

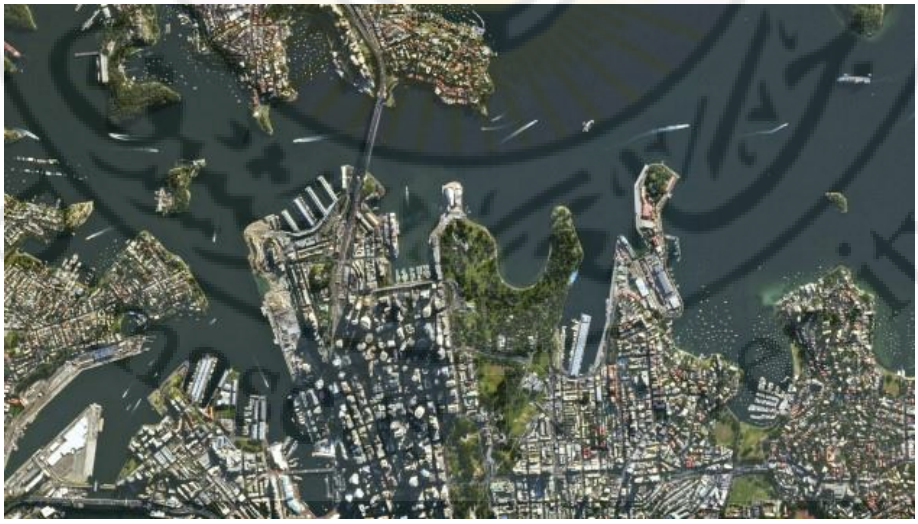
القمر	الأقنية الطيفية	قدرة التمييز المكانية بالمتر	أطوال الموجات بالميكرومتر
سبوت–1	بنكروماتي	10×10	0,73- 0,50
سبوت–2	أخضر	20×20	0,59 - 0,50
سبوت–3	أحمر	20×20	0,68 - 0,61
	تحت أحمر قريب	20×20	0,89- 0,78
سبوت–4	بنكروماتي	10×10	0,68 - 0,61
	أخضر	20×20	0,59- 0,50
	أحمر	20×20	0,68 - 0,61
	تحت أحمر قريب	20×20	0,89- 0,78
	تحت أحمر متوسط	20×20	1,75 - 1,58
سبوت–5	بنكروماتي	2,5 ×2,5 / 5×5	0,71 - 0,48
	أخضر	10×10	0,59 - 0,50
	أحمر	10×10	0,68 - 0,61
	تحت أحمر قريب	10×10	0,89 - 0,78
	تحت أحمر متوسط	20×20	1,75 - 1,58

شكل (95): صورة ملتقطة بوساطة سبوت–5 لمدينة شنغهاي في الصين في شهر تشرين الثاني بقدرة تمييز 2,5 متراً

4.5.5 – أقمار الجيل الرابع: سبوت 6 و7

صُمّم القمران سبوت 6 و7 من أجل ضمان استمرارية الحصول على صور عالية الدقة في مراقبة الأرض. وقد أُطلق القمر سبوت–6 عام 2012م ويليه القمر سبوت–7 عام 2014م من ارتفاع 694 كم في مدار متزامن مع الشمس وتغطية أرضية 60×60 كم. يقوم هذان القمران بالتصوير البنكروماتي في مجال طيفي طوله 0,45–0,74 ميكرومتر بدقة تمييز 1,5 م. وأيضاً يعطيان صوراً متعددة الأطياف بدقة تمييز 6 م في المجال الأزرق بطول 0,45–0,52 ميكرومتر وفي المجال الأخضر بطول 0,53–0,59 ميكرومتر، وأيضاً في المجال الأحمر بطول 0,62–0,69 ميكرومتر والمجال تحت الأحمر القريب بطول 0,76–0,89 ميكرومتر. انظر **الشكلين (96، 97)**

شكل (96): أول صورة فضائية للقمر سبوت-6 لجزيرة بورا بورا البولونية بعد بضعة أيام من إطلاقه بدقة تمييز 1,5 متر فوق مساحة 60×60 كم



شكل (97): صورة فضائية لمدينة سيدني مأخوذة بالقمر سبوت-7 بعد ثلاثة أيام من إطلاقه عام 2014 بدقة تمييز 1,5 متراً

6.5– الأقمار الهندية آيرس The Indian Remote Sensing (IRS) Satellite:

لقد نجحت الهند بإطلاق مجموعة أقمار صناعية خلال الفترة الواقعة بين 1988–1997 أولها IRS-1A , IRS-2B حلقت كلها على ارتفاع يتراوح بين 814 و940 كم بمدار متزامن مع الشمس تكمل دورتها كل 24 يوماً. وتحمل الأجهزة الآتية:

- **جهاز تصوير خطي ذاتي المسح** Linear Imaging Self Scanning (LISS) بقدرة تمييز تبلغ 70 م وتغطيته الأرضية (أي عرض الشريط المصور) تبلغ 142 كم، ويعمل ضمن أربعة مجالات طيفية في المجال المرئي والمجال تحت الأحمر القريب هي:
  - المجال الأزرق وطوله 0,45 –0,52 ميكرومتر
  - المجال الأخضر وطوله 0,5 –0,59 ميكرومتر
  - المجال الأحمر وطوله 0,62–0,68 ميكرومتر
  - ومجال تحت أحمر قريب وطوله 0,77–0,86 ميكرومتر
- **جهاز تصوير خطي ذاتي المسح** LISS-2 : يعمل أيضاً في أربعة مجالات طيفية أطوالها كما هي في السابق ولكن بقدرة تمييز 36 م وتغطية أرضية تبلغ (74×74)كم.

أما القمر IRS-1C فقد حلق في الفضاء عام 1995م وأطلق توأمه القمر IRS-1D عام 1997م. وقد حمل القمران التوأمان جهازاً محسناً هو LISS-III بقدرة تمييز تصل إلى 5,8 م في المجال البنكروماتي ضمن مجال طيفي وحيد طوله 0,5–0,75 ميكرومتر يكمل دورته في 24 يوماً. أما قدرة التمييز الأرضي في المجال المرئي وتحت الأحمر القريب فتبلغ 23,5 م، وعرض الشريط المصور 141 كم. كما يحتويان على مشعر حقلي عريض

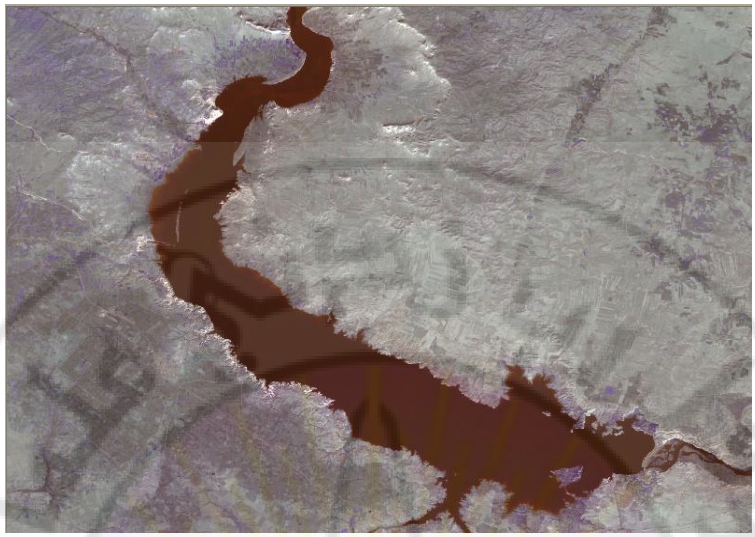
Wide Field Sensor (WiFS) بقدرة تمييز 180 م ويتم دورته كل 24 يوماً أيضاً.

يوجد في القمر IRS-P3 الذي أُطلق عام 1996م قناة إضافية طول موجتها يتراوح بين 1-1,7 ميكرومتر انظر **الجدول (14) والشكلين (98 و99)**.

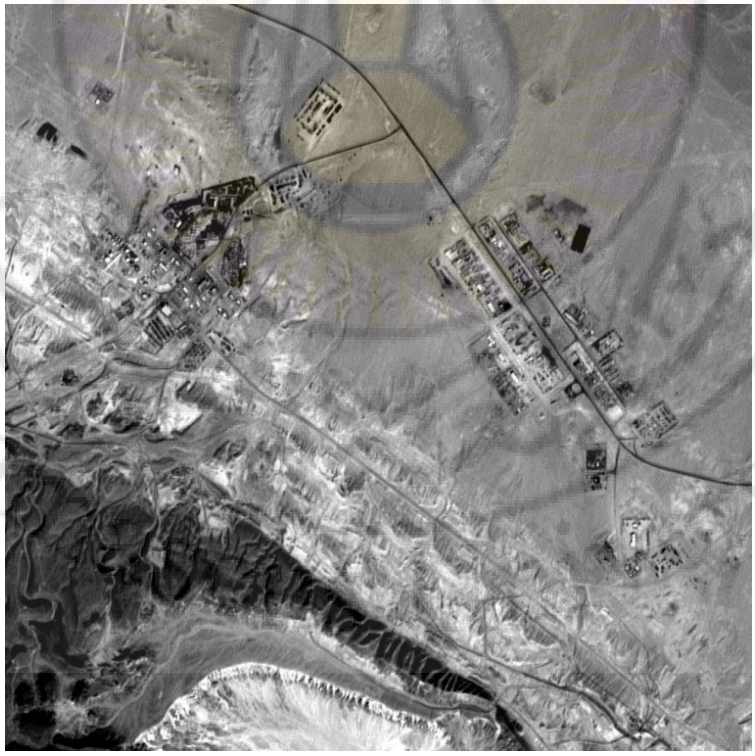
انتهى العمل بالقمر IRS-1A عام 1996م والقمرIRS-2B عام 2003. وعام 2006م انتهى العمل بالقمر IRS-P3، تلاه القمر IRS-1 C عام 2007م أما القمر IRS-1D فقد استمر بالعمل حتى عام 2010م.

جدول (14): خصائص بعض الأجهزة التي حُملت على أقمار آيرس الهندية

الخصائص	WiFS	LISS-III	PAN
الارتفاع	817 كم	817 كم	817 كم
التكرارية الزمنية	5 أيام	24 يوم	24 يوم
قدرة التمييز المكانية	180 متر	23 متر	5,8 متر
عرض شريط المسح	740 كم	141 كم	70 كم
أطوال الأقنية الطيفية بالميكرومتر	0,59- 0,52 0,68 – 0,62 0,86 – 0,77 1,75 – 1,55	0,59- 0,52 0,68 – 0,62 0,86 – 0,77 1,70 – 1,55	0,75 – 0,50



شكل (98): بحيرة الأسد ملتقطة بوساطة القمر الهندي IRS-LISS عام 2007 في المجالات الطيفية 2.3.4 بقدرة تمييز 24 متراً



شكل (99): جزء من سلطنة عمان التقط بوساطة IRS بقدرة تمييز 5,8 متراً

7.5 – أقمار إيرس الأوروبية (ERS) 1 و2 European Remote Sensing Satellite:

هي أقمار صُممت من قبل وكالة الفضاء الأوربية European Space Agency. أُطلق إيرس 1و2 عامي 1991م و1995م على التوالي وهي أقمار متزامنة مع الشمس، وارتفاعها 785 كم وتتم دورة كل منهما في35 يوماً وعرض الشريط (المساحة المصورة) 100×100 كم بقدرة تمييز 12,5 م ويقطع خط الاستواء عند الساعة العاشرة والنصف صباحاً. انتهى العمل بالقمر ERS-1 في عام 2000م بينما استمر ERS-2 حتى عام 2011م.

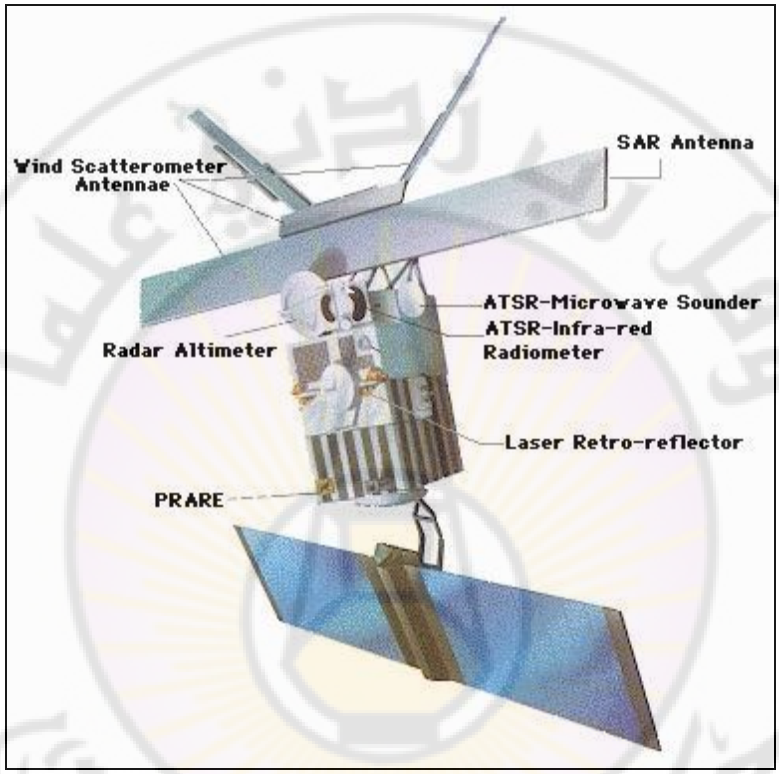
يحوي ERS-1 أجهزة الاستشعار الآتية:

- رادار **SAR** ذو فتحة صنعية في مجال (C) طول موجتها 5,6 سم
- **جهاز ميكروي فعال Active Microwave Instrument (AMI)**
- **راديومتر (Along Track Scanning Radiometer (ATSR**
- **جهاز ميكروويف صوتي ATSR- Microwave Sounder**
- **راديومتر يعمل في المجال تحت الأحمر ATSR-Infrared Radiometer** لتسجيل سماكة الغيوم ودرجة حرارة الجو ومحتوى الجو من بخار الماء.(للمزيد انظر Loeffler 1994).

أما ERS-2 فهو يختلف عن ERS-1 الذي أُطلق إلى الفضاء بوساطة صاروخ إيريان يتميز عن ERS-1 بأنه يضم ماسحاً راديومترياً متطوراً AATSR) Advanced Along Track Scanning Radiometer

يعمل في مجال الأشعة المرئية إضافة إلى المواسح الأخرى وقد عمل هذا القمر أكثر من عشر سنوات أضف إلى ذلك إن عمل القمرين مع بعضهما البعض أدى إلى التقليل

من التكرارية الزمنية التي كانت 35 يوماً إلى يوم واحد وثمانية أيام إذا تم المسح بالآلة نفسها في كلا الماسحين. انظر **الشكل (100)**.



شكل (100): القمر الأوروبي ERS-2 والأجهزة التي يحملها

8.5– القمر الصناعي الياباني جيرس (JERS) Japanese Earth Resources Satellite:

أُطلق هذا القمر من قبل وكالة بحوث الفضاء العالمية في اليابان عام 1992م وعمل حتى عام 1998م أي أربع سنوات زيادة عما كان مخططاً له، وهو متزامن مع الشمس وارتفاعه 568 كم وكان يكمل دورته حول الأرض كل 44 يوماً ويحمل جهازي استشعار هما:

أ- المشعر البصري (OPS) ويسجل الأشعة في ثمانية مجالات طيفية (في مجال الأشعة المرئية، وتحت الحمراء القريبة، والمتوسطة) تتراوح أطوال موجاتها بين 0,52-2,40 ميكرومتر بقدرة تمييز أرضية 18,3 م. ويقوم بتصوير مساحة أبعادها 75×75 كم كما ويرسل صوراً مجسمة تستخدم في وضع الخرائط.

ب- الرادار ذو الفتحة الصناعية (SAR) الذي يعمل ضمن مجال طيفي طوله 23,5 سم. انظر **الجدول (15) والشكل (101)**.

جدول (15): خصائص القمر الصناعي الياباني JERS

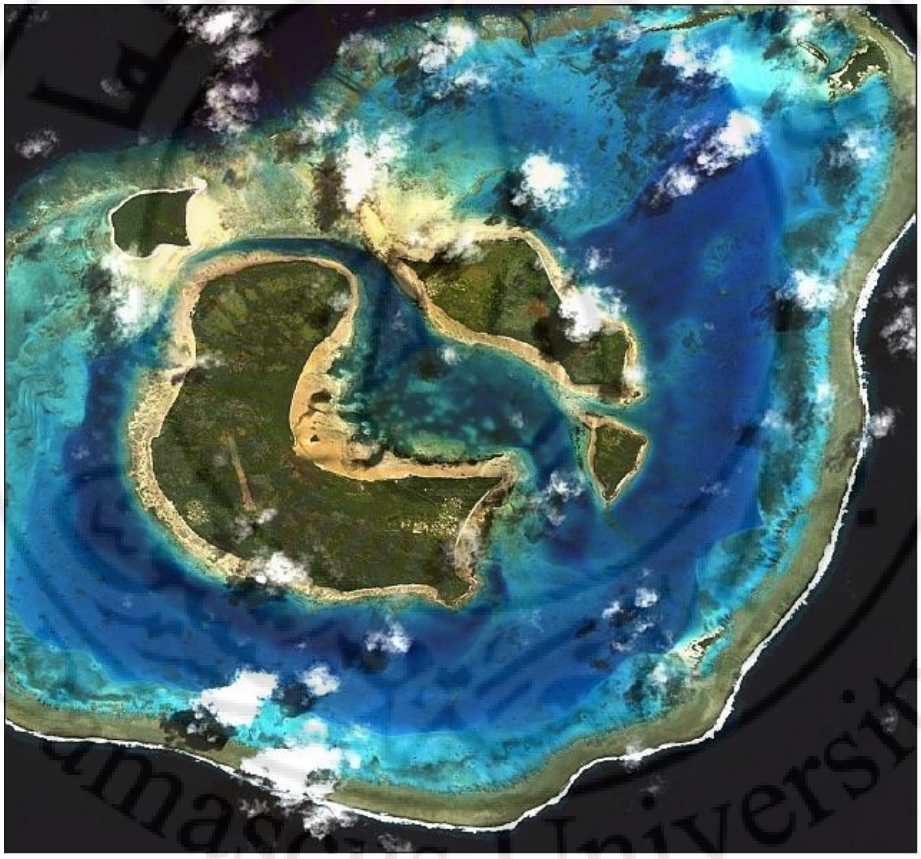
الخصائص	JERS-1
سنة الإطلاق	1992
الارتفاع	568 كم
عرض شريط المسح	75 كم
التكرارية الزمنية	44 يوم
قدرة التمييز المكانية	18,3 متر
طول الأقنية الطيفية بالميكرومتر	0,52 -0,60 0,63 – 0,69 0,76 – 0,86 0,76 – 0,86 1,60 – 1,71 2,01-2,12 2,13- 2,25 2,27- 2,40

شكل (101): صورة لمدغشقر ملتقطة من القمر الصناعي الياباني JERS عام 1997

9.5– القمر الصناعي أورب فيو OrbView :

بدأ إطلاق سلسلة من هذه الأقمار عام 1995م بإطلاقOrbView-1 على ارتفاع 705 كم والذي يُعدّ من الأقمار الصغيرة (Microsatellite). ويحمل أجهزة استشعار تقوم بالتسجيل في 8 مجالات طيفية (في المجال المرئي وتحت الأحمر) أطوالها تتراوح بين 0,40- 0,88 ميكرومتر، وعرض الشريط الذي تقوم بتصويره 2,8×2,8 كم وبقدرة تمييز مكانية تصل إلى 1 م. استمر بالعمل خمس سنوات حتى عام 2000م.

كان آخر هذه السلسلة القمرOrbView-4 الذي أُطلق إلى الفضاء الخارجي في 21 أيلول من عام 2001م لكنه فشل بعد إطلاقه، كان من المفترض أن يحلق على ارتفاع 470 كم ويحمل أجهزة متطورة فائقة الطيفية (HS) تمتلك 200 قناة طيفية في المجال 0,45–2,50 ميكرومتر وتقوم بإرسال صور بدقة تمييز تصل إلى 1 م في المجال البنكروماتي بعرض شريط 8×8 كم وكان باستطاعته أن يدور حول الأرض دورة كاملة كل ثلاثة أيام. انظر **الشكل (102) والجدول (16)**.



شكل (102): صورة لجزر فيجي ملتقطة بوساطة القمر الصناعي OrbView-3 عام 2004 بقدرة تمييز مكانية 4 متراً

جدول (16): المشعرات المحملة على أقمار **OrbView**

نوع القمر	مدة العمل	المشعرات المحملة
OrbView-1	2000-1995	GPS/MET (مشعر راديوي للرصد الجوي/GPS) OTD (مشعر بصري)
OrbView-2	2010-1997	SeaWifs (مشعر حقلي واسع لدراسة البحر)
OrbView-3	2007-2003	PAN/MS (متعدد الأطياف)/(بنكروماتي)
OrbView-4	2001 فشل عند الإطلاق	PAN/MS/HS (عالي الطيفية)/(متعدد الأطياف)/(بنكروماتي)

10.5- المشعر آستر Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER):

آستر هو أحد الأجهزة المحملة على قمر تيرا التابعة لوكالة الفضاء الأمريكية ناسا NASA الذي أطلق عام 1999م[12].

وهو خلاصة الجهود التي بذلتها وكالة الفضاء الأمريكية بالتعاون مع وزارة التجارة والصناعة والاقتصاد اليابانية METI وبالتعاون مع المنظمات العالمية والصناعية في كلا البلدين ضمن برنامج مراقبة الأرض في ناسا (EOS)[13].

يدور في مدار متزامن مع الشمس يبعد 30 دقيقة عن لاندسات ETM ويقطع خط الاستواء عند الساعة 10,30 حسب التوقيت المحلي، حيث إنّ خصائص مداره

[12] ASTER User Handbook .Michael Abrams,Simon Hook and others, EROS Data Center, Version2,page5.

[13] MAT remote sensing & GIS departure.8/may/2006,page 1. .Third country training program

تشبه مدار لاندسات-7 ما عدا الوقت. يغطي آستر مجالاً طيفياً واسعاً يُقدّر بـ 14 مجالاً طيفياً يمتد من المجال المرئي إلى المجال تحت الأحمر القريب وتحت الأحمر الحراري بدقة مكانية وطيفية إشعاعية عالية بالإضافة إلى مجال طيفي تحت أحمر قريب يؤمن الرؤية الستيريوسكوبية.

تختلف قدرة التمييز المكانية باختلاف أطوال الموجات فهي 15 م في المجال المرئي وتحت الأحمر VNIR و30 م في المجال تحت الأحمر القصير SWIR و90 م في القناة الحرارية TIR. يغطي آستر في كل لقطة مساحة قدرها 60×60 كم (انظر **الجدول 17**).

تُستخدم صور ASTER في تطبيقات متعددة أهمها: إنتاج خرائط تفصيلية لدرجة حرارة سطح الأرض وقيم الانعكاس والارتفاعات (DEM). بالإضافة إلى دراسات تخص الغطاء النباتي ورصد الكوارث الطبيعية وفي المجال المناخي والجيولوجي.

في عام 2008م أعلن رسمياً إيقاف العمل بهذا القمر لوجود أخطاء في الكواشف التي تعمل في الموجات (SWIR). وابتداءاً من عام 2016م وضعت بيانات آستر بشكل مجاني على صفحة وكالة الفضاء الأمريكية وإمكانية تحميلها بعد التسجيل في الموقع. انظر **الشكل (103)**.

جدول (17): خصائص المجالات الطيفية في آستر

نوع الأشعة الموجية	الأقنية الطيفية وأطوالها بالميكرومتر	الدقة المكانية بالمتر
VNIR (المجال المرئي وتحت الأحمر)	1) 0,520 - 0,60	15
	2) 0,630 - 0,690	
	3N) 0,760–0,860	
	3B) 0,760–0,860	
SWIR (المجال تحت الأحمر القصير)	4) 1,600–1,700	30
	5) 2,145–2,185	
	6) 2,185–2,225	
	7) 2,235–2,285	
	8) 2,295–2,365	
	9) 2,360–2,430	
TIR (المجال الحراري)	10) 8,125–8,475	90
	11) 8,475–8,825	
	12) 8,925–9,275	
	13) 10,250–10,950	
	14) 10,950–11,650	

شكل (103): صورة ملتقطة لبحيرة الأسد بوساطة المشعر آستر عام 2006 بقدرة تمييز مكانية 30 متراً

11.5– القمر الصناعي إيكونوس IKONOS:

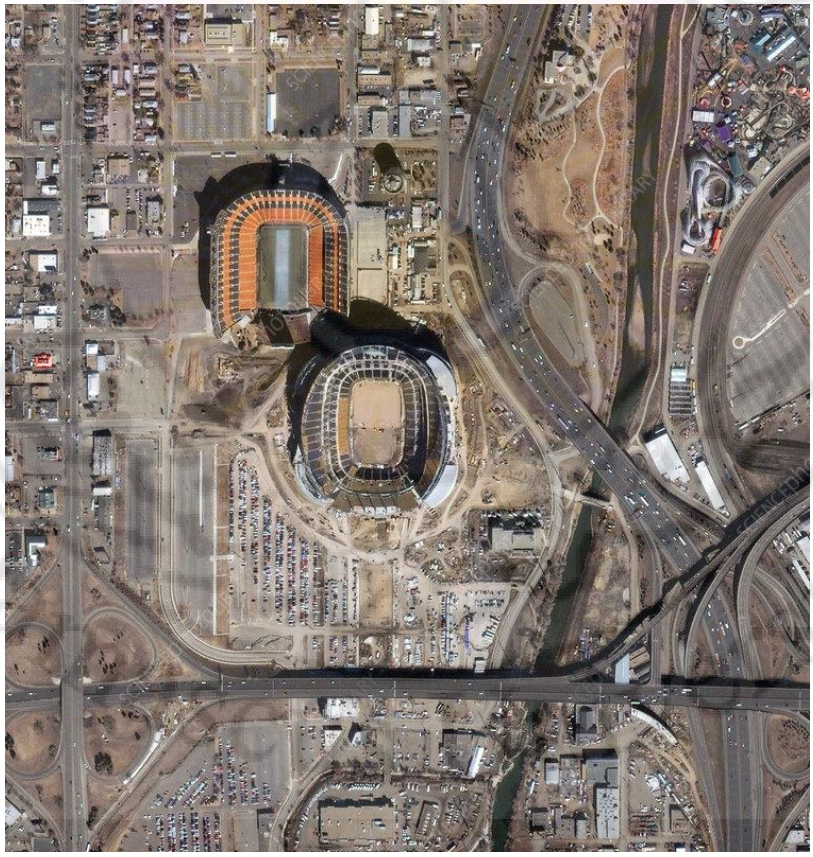
أُطلق هذا القمر من قبل شركة أمريكية لتصوير الفضاء بهدف تقديم صور تجارية عالية الدقة في تحديد الموقع. فتم العمل على إطلاق أول قمر **IKONOS-1** في 1999/4/27 ولكن مخروط الاحتراق فشل في الانفصال عن صاروخ الإطلاق عند التحليق مما أدى إلى خسارة القمر.

وفي 1999/9/24 أُطلق **IKONOS-2** بنجاح على ارتفاع 681 كم يبلغ عرض الشريط الذي يقوم بتصويره 11 كم، ويكمل دورته حول الأرض كل 14 يوماً، ويقدم صوراً بقدرة تمييز عالية تصل إلى 0,82 م في المجال البنكروماتي الذي طول موجته يتراوح بين 0,45-0,90 ميكرومتر، كما يحمل هذا القمر ماسحاً متعدد الأطياف يقدم

صوراً بقدرة تمييز تصل إلى 4 م ضمن أربع أقنية طيفية في المجال المرئي وتحت الأحمر القريب أطوال موجاتها كما يلي:

- 0,45 -0,53 ميكرومتر (أزرق)
- 0,52-0,61 ميكرومتر (أخضر)
- 0,64-0,72 ميكرومتر (أحمر)
- 0,76-0,86 ميكرومتر (تحت أحمر قريب)

ويسمح بالتصوير الستيريوسكوبي نتيجة قدرة آلة التصوير على الميلان، انظر **الشكلين (104 و105)**. وقد انتهت مهمة هذا القمر في 2015/3/31.



شكل (104): صورة ملتقطة من القمر IKONOS-2 للستاد الرياضي الجديد في مدينة دينفر في الولايات المتحدة الأمريكية بتاريخ 2001/8/19 بقدرة تمييز مكانية 1 متراً

شكل (105): مدينة دبي ملتقطة عام 2000 بوساطة القمر الصناعيIkonos بقدرة تمييز 1 متراً

12.5 – القمر الصناعي كويك بيرد Quick Bird:

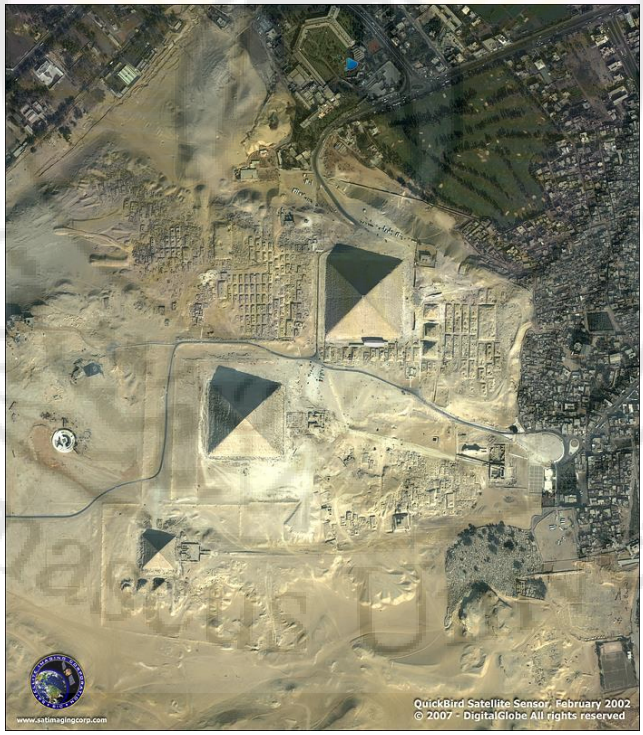
صُمّم هذا القمر من قبل وكالة مراقبة الأرض الأمريكية (EarthWatch سابقاً والتي غيرت اسمها إلى DigitalGlobe) التي أرسلت القمر الأول EarlyBird-1 في نهاية عام 1997م، وعلى الرغم من الإطلاق الناجح للقمر إلا أنه تأخر في الوصول للمدار المحدد (على ارتفاع 470كم) بأربعة أيام وأُنهيت هذه المهمة بعد محاولات الاتصال الفاشلة مع القمر. وفي نهاية عام 2001م، أُرسل القمر الثاني QuickBird-1 الذي فشل أيضاً في الوصول إلى الارتفاع المحدد للمدار (600 كم) وانتهت مهمته بعد أن فُقد الاتصال مع القمر.

بعد هاتين الخسارتين المتواليتين، نجحت الشركة المالكة في إطلاق القمر QuickBird-2 على ارتفاع 450 كم، والذي يحمل ماسحاً يقوم بتسجيل الأشعة في المجال طيفي يتراوح طوله 0,45-0,90 ميكرومتر (بنكروماتي) وبقدرة تمييز 0,61 م و ماسحاً متعدد الأطياف يقدم صوراً بقدرة تمييز تصل إلى 2,4 م بعرض شريط يصل إلى

16,5 كم. يكمل هذا القمر دورته حول الأرض كل 20 يوماً. ويقوم بتسجيل الأشعة في أربع أقنية طيفية هي:

- 0,52-0,45 ميكرومتر (المجال الأزرق)
- 0,60-0,52 ميكرومتر (المجال الأخضر)
- 0,69 -0,63 ميكرومتر (المجال الأحمر)
- 0,90-0,76 ميكرومتر (المجال تحت الأحمر القريب)

في عام 2011م، قامت الشركة المالكة بزيادة ارتفاع مدار القمر ليصل إلى 482 كم بهدف إطالة مدة عمل القمر. وفي بداية عام 2015 م أُنهي العمل به بعد 13 عاماً في مداره حول الأرض (انظر **الشكل 106**). انظر **الجدول (18)** الذي يبين المواصفات الفنية لبعض الأقمار الصناعية عالية الدقة المكانية.



شكل (106): أهرامات الجيزة ملتقطة بوساطة القمر Quick Bird عام 2002 بقدرة تمييز 2,6 متراً

جدول (18): خصائص بعض الأقمار الصناعية التي تتميز بقدرة تمييز عالية

الخصائص		Ikonos	QuickBird	OrbView/3
سنة الإطلاق		1999	2001	2003
الارتفاع بالكم		680	600	470
عرض شريط المسح بالكم		11	16,5	8
التكرارية الزمنية		14 يوم	20 يوم	16 يوم
قدرة التمييز المكانية بالمتر		بنكروماتي 0,82	0,62	1
		متعدد الأطياف 4	2,44	4
طول الأقنية الطيفية (ميكرومتر)	بنكروماتي	0,90- 0,45	0,90- 0,45	0,90- 0,45
	متعدد الأطياف	0,52 – 0,45	0,52 – 0,45	0,52 – 0,45
		0,60 – 0,52	0,60 – 0,52	0,60 – 0,52
		0,63 – 0,60	0,69 – 0,63	0,69 -0,62
		0,90 – 0,76	0,90 – 0,76	0,90 – 0,76

13.5– القمر الصناعي كبيرس China Brasil Earth Resources Satellite (CBERS):

أُطلقت سلسلة من هذه الأقمار نتيجة التعاون بين البرازيل والصين، حيث أُطلق أول قمر CBERS-1 من مركز Taiyuan في الصين في 1999/10/14 وحلق على ارتفاع 778 كم واستمر بالعمل حتى عام 2003م.

وفي 2003/10/21 أُطلق CBERS-2 الذي استرجع من الفضاء في نهاية عام 2007م بعد أن أصبح بالإمكان الحصول على صور من القمر CBERS-2B، حيث أطلق في 2007/9/19 واستمر بالعمل حتى 2010م. وتواصل العمل المشترك بين البرازيل والصين في إطلاق الجيل الثاني من هذه الأقمار، واتُفق على إرسال CBERS-3 وCBERS-4 في عامي 2012م و2013م على التوالي.

تُستخدم بيانات هذا القمر في مراقبة التصحر والحرائق في منطقة الأمازون وإدارة المصائد المائية والنمو الحضري والمدني واستخدامات الأراضي، إضافة إلى مراقبة الأحواض الهيدرولوجية وإدارتها. يحمل القمر CBERS-1 و CBERS-2 آلات التصوير نفسها التي تقدم صوراً في مجالات طيفية عدة هي:

- **آلة تصوير ذات حقل تصوير واسع مصنوعة في البرازيل Wide-Field-Camera Imager (WFI):**

تقوم هذه الآلة بالتصوير في مجالين طيفين. المجال الأحمر من الطيف المرئي بطول موجي 0,63- 0,69 ميكرومتر، ومجال تحت أحمر قريب وطوله 0,77 -0,89 ميكرومتر، بقدرة تمييز مكانية تبلغ 260 م وعرض الشريط الذي تقوم بتصويره 890 كم بتكرارية زمنية من 3-5 أيام. انظر **الشكل (107)**

- **آلة تصوير ذات دقة عالية مصنوعة في الصين High Resolution CCD Camera (HRCC):**

تقدم هذه الآلة صوراً في خمسة مجالات طيفية مرئية وتحت حمراء هي:

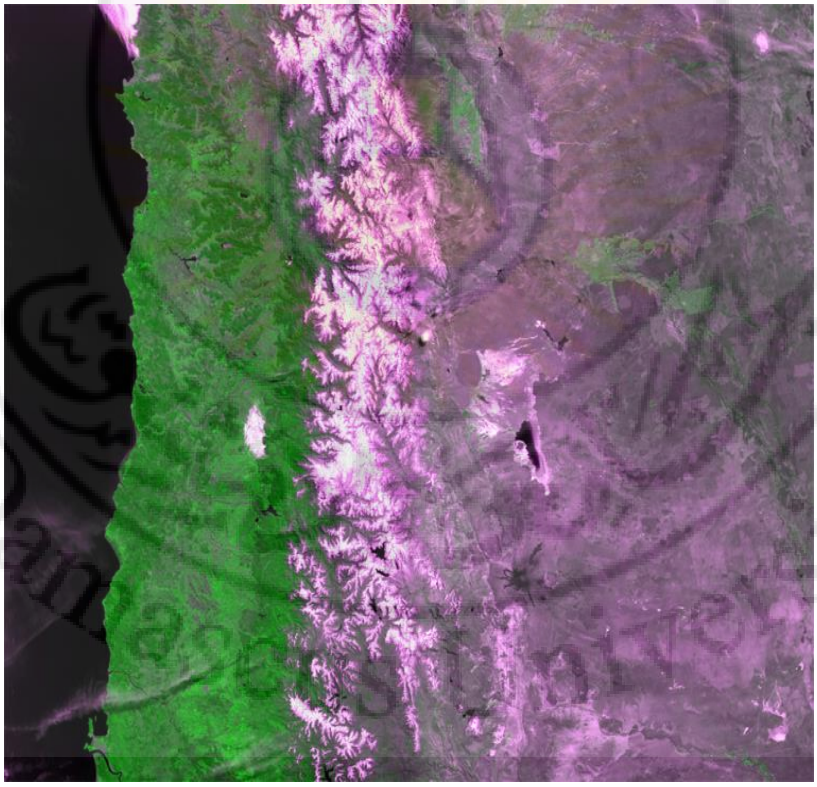
- بنكروماتي وطوله 0,51 -0,73 ميكرومتر
- مجال أزرق وطوله 0,45- 0,52 ميكرومتر
- مجال أخضر وطوله 0,52- 0,59 ميكرومتر
- مجال أحمر وطوله 0,63-0,69 ميكرومتر
- ومجال تحت أحمر قريب طوله 0,77- 0,89 ميكرومتر

وهي ذات قدرة تمييز مكاني تصل إلى 20 م، وعرض الشريط الذي تقوم بتصويره يصل إلى 113 كم بتكرارية زمنية كل 26 يوماً. عدا عن ذلك تستطيع هذه الآلة القيام بالتصوير العمودي ومن ثمّ استخدام الصور في وضع الخرائط الدقيقة.

- **ماسح متعدد الأطياف في المجال تحت الأحمر مصنوع في الصين**

: (IRMSS) Infrared Multispectral Scanner

يقوم هذا الماسح بالتصوير في أربعة مجالات طيفية. في المجال البنكروماتي بطول موجي 0,50 -1,10 ميكرومتر إضافة إلى تقديم صور في مجالين من الأشعة تحت الحمراء القصيرة: الأول بطول موجي 1,55- 1,75 ميكرومتر، والثاني بطول موجي 2,08- 2,38 ميكرومتر. والمجال تحت الأحمر البعيد (الحراري) بطول موجي 10,4-12,50 ميكرومتر. تبلغ قدرة التمييز المكانية لهذا الماسح في المجال البنكروماتي والمجال تحت الأحمر القصير 80 م أما في المجال الحراري فتصل إلى 160 م، ويبلغ عرض الشريط الذي يقوم هذا الماسح بتصويره 120 كم بتكرارية زمنية كل 26 يوماً.



شكل (107) صورة فضائية لجنوب أمريكا ملتقطة بوساطة القمر CBERS-2 بوساطة آلة تصوير ذات حقل تصوير واسع WFI بقدرة تمييز مكانية 260×260 متراً

14.5- القمر الصناعي فورموسات FormoSat:

طوّر هذا القمر من قبل برنامج الفضاء العالمي في تايوان (جمهورية الصين) بهدف دراسة توزع المصادر الطبيعية والغابات وحماية البيئة ومراقبة الكوارث الطبيعية والتطور العمراني ومراقبة نمو المحاصيل وإدارة السواحل وغيرها.

أطلق **FormoSat-1** (الاسم السابق **ROCSat-1**) في بداية 1999 على ارتفاع 600 كم واستمر حتى عام 2004م. ثم أُطلق **FormoSat-2** في 2004/5/20 على ارتفاع 888 كم ويحمل أجهزة استشعار تقوم بالتصوير البنكروماتي بطول موجي يتراوح بين 0,45- 0,90 ميكرومتر ويقدم بيانات بدقة تمييز مكانية تصل إلى 2 م، كما يقوم بالتصوير متعدد الأطياف في المجال المرئي بطول موجي يتراوح بين 0,45- 0,52 ميكرومتر (القناة الزرقاء) و0,52 – 0,60 ميكرومتر (القناة الخضراء) و0,63- 0,69 ميكرومتر (القناة الحمراء). إضافة إلى التصوير في المجال تحت الأحمر القريب بطول موجي يتراوح بين 0,76 – 0,90 ميكرومتر وبدقة تمييز مكانية تصل إلى 8 م، ويبلغ عرض الشريط الذي يقوم بتصويره 24 كم وبتكرارية زمنية يومية. أنهى هذا القمر عمله عام 2016م انظر **الشكلين (108) (109)**.

في 15/نيسان/2006 أُطلق القمر **FormoSat-3** (أو **COSMIC** والمؤلف من ستة أقمار مصغرة) على ارتفاع 800 كم بمهمة جديدة للرصد الجوي والمناخي وسبر أطراف الأيونوسفير[14]. استكمالاً لمهمة القمر **FormoSat-2** أُرسل **FormoSat-5** عام 2017م محملاً بأجهزة استشعارية بصرية عالية الدقة تصل في التصوير المتعدد الأطياف إلى 4 أمتار. وكذلك الأمر مع **FormoSat-7** (أو **COSMIC-2**) الذي كان خليفة للقمر **FormoSat-3** والذي جاء نتيجة التعاون

[14] الأيونوسفير هو الجزء العلوي من الغلاف الجوي ويضم طبقة الثيرموسفير والإكزوسفير وجزءاً من الميزوسفير ويمتد من 60 كم إلى ارتفاع 1000 كم. تسمى المنطقة التي تقع تحته الغلاف الجوي المحايد، ويشكل الحافة الداخلية لطبقة الماغنيتوسفير من الأعلى، كما أن له دوراً مهماً في كهرباء الغلاف الجوي ويؤثر في الانتشار الراديوي على الأرض.

الدولي بين برنامج الفضاء العالمي في تايوان وإدارة أقمار **NOAA** لجمع البيانات المناخية والتنبؤ الجوي. أُطلق هذا القمر في منتصف عام 2019م على شكل اثني عشر قمراً مصغراً.

شكل (108): صورة لجبل طارق ملتقطة بوساطة القمر FormoSat–2 بآلة تصوير بنكروماتي بقدرة تمييز 2 متراً

شكل (109):صور FormoSat-2 لمنطقة واتاري في الساحل الشمالي الشرقي لليابان التي ضربها زلزال بشدة 9 في 11 آذار 2011 قبل الكارثة إلى اليسار وفي 12 آذار 2011 بعد الكارثة على اليمين

15.5- القمر الصناعي كارتوسات Cartosat:

يُعدّ كارتوسات من أحدث الأقمار الصناعية التي أطلقتها منظمة أبحاث الفضاء الهندية في التطبيقات الكارتوغرافية والتي كانت تطويراً لسلسلة أقمار IRS.

كان أول أقمار هذه السلسلة **Cartosat-1** (أو القمر IRS-P5) عام 2005م على ارتفاع 618 كم في مدار قطبي متزامن مع الشمس ويحمل آلتي تصوير إحداهما بنكروماتية ستيريوسكوبية تقدم صوراً باللونين الأبيض والأسود في المجال المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي بقدرة تمييز 2,5 م وعرض الشريط الذي يقوم بمسحه يبلغ 30×30 كم.

كما أُطلق **Cartosat-2** في العاشر من شهر كانون الثاني عام 2007م على ارتفاع 630 كم بقدرة تمييز 80 سم ويقدم معطيات بنكروماتية تفصيلية عالية الدقة بتكرارية زمنية قصيرة لا تزيد على أربعة أيام ويبلغ عرض الشريط المصور 9,6 كم. تستخدم معطياته العالية الدقة المكانية في الخرائط التفصيلية وإدارة تطور البنى المدنية والريفية في تطبيقات GIS أيضاً. انتهى العمل بالقمر **Cartosat-1** و **Cartosat-2** عام 2017م. انظر **الشكل (110) والجدول (19)**.

تلا ذلك إطلاق سلسلة من أقمار الجيل الثاني لأهداف مدنية وعسكرية من القمر **Cartosat-2A** عام 2008م إلى القمر **Cartosat-2E** عام 2017م على التوالي. وأُطلق الجيل الثالث (**Cartosat-3**) نهاية 2019م.

شكل (110): صورة ملتقطة بآلة تصوير بنكروماتية محمولة على متن Cartosat–2 عام 2006 بقدرة تمييز 80 سم

جدول (19): خصائص القمر الهندي كارتوسات 1 و2

الخصائص	Cartosat-1	Cartosat-2
عام الإطلاق	2005	2007
الارتفاع بالكم	618	635
مدة وصوله إلى المدار	97 دقيقة	
زمن عبوره خط الاستواء	10.30 صباحا	
التكرارية الزمنية	15 يوم	
مدة عمله	5 سنوات	
دقة التمييز المكانية	2,5 متر	80 سم
عرض الشريط المصور	30 كم	9,6 كم
المجال الطيفي المستخدم	0,5 – 0,85 ميكرومتر	

16.5- القمر الصناعي ألوس ALOS Advanced Land Observing Satellite :

أُطلق هذا القمر من قبل اليابان عام 2006م من ارتفاع 692 كم تقريباً وبتكرارية زمنية 46 يوماً. وهو مخصص لدراسة موارد سطح الأرض ويقدم بيانات لرسم الخرائط وحماية البيئة وإدارة الكوارث الطبيعية ومن المفترض أن يعمل من 3 إلى 5 سنوات. يحمل ثلاثة أجهزة تصوير هي :

1. **جهاز تصوير بنكروماتي** Panchromatic Remote sensing (PRISM) Instrument for Stereo Mapping

يقوم بالتصوير في مجال طيفي طوله يتراوح بين 0,52 – 0,77 ميكرومتر بقدرة تمييز 2,5 م وشريط عرضه 35 كم. انظر **الشكل** (**111**).

2. **جهاز راديومتر مطوّر** Advanced Visible And Near Infrared Radiometer (AVNIR-2

يقوم بالتصوير في مجال الأشعة المرئية: في القناة الزرقاء بطول 0,42– 0,50 ميكرومتر والقناة الخضراء وطولها 0,52-0,60 ميكرومتر والقناة الحمراء بطول 0,61-0,69 ميكرومتر بدقة مكانية تصل إلى 10 م وبشريط عرضه 70 كم، بالإضافة إلى قناة تحت حمراء قريبة وطولها 0,76-0,89 ميكرومتر بدقة مكانية 10 م أيضاً. انظر **الشكل** (**112**).

3. **جهاز رادار ذو فتحة جانبية** Phased Array type L-band (PALSAR) Synthetic Aperture Radar

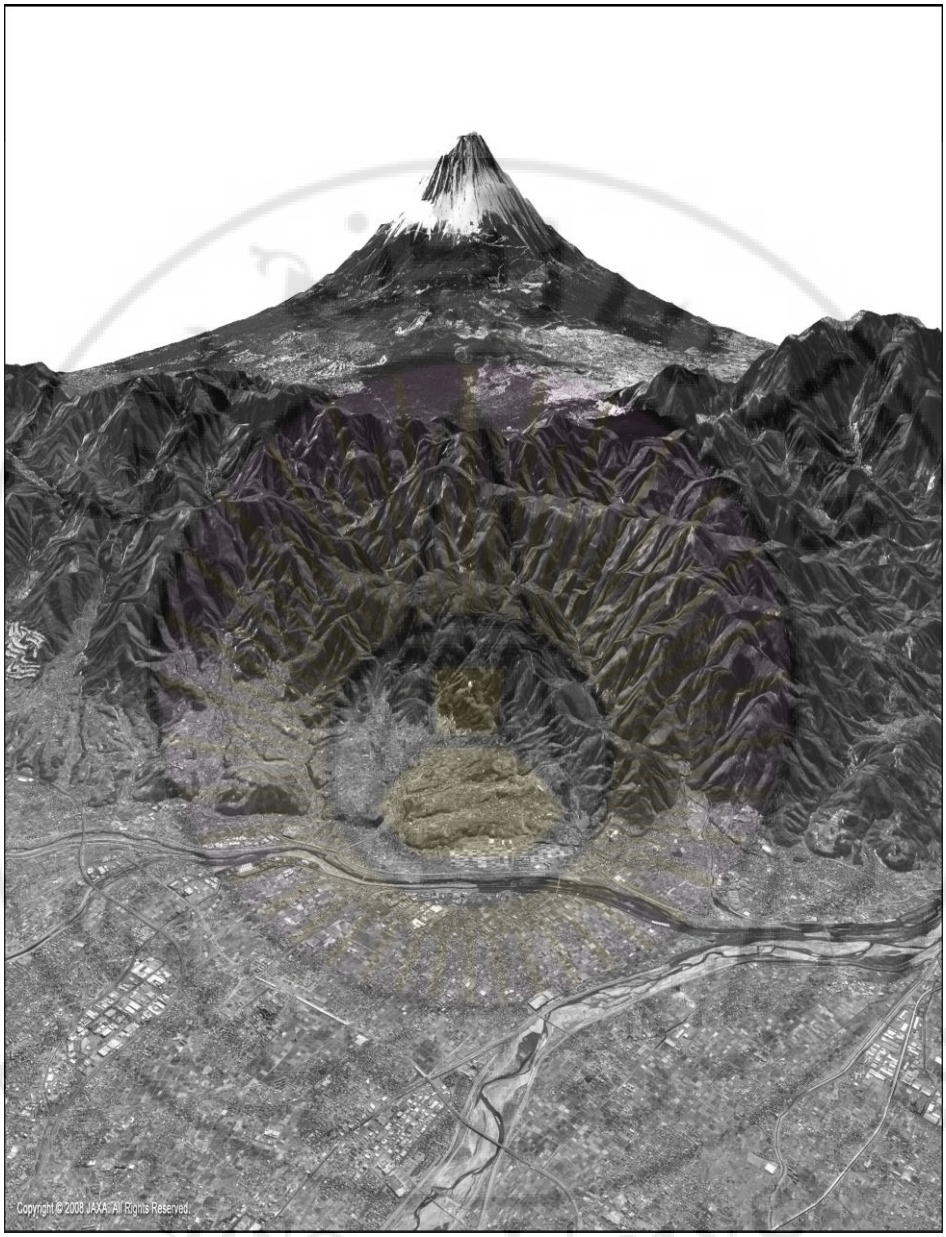
يعمل في المجال L ويقدم مرئيات بقدرة تمييز مكاني 10 و 100 م وشريط يتراوح عرضه بين 250 و350 كم، انظر **الشكل** (**113**). في عام 2011م أُوقِفت البطاريات الخاصة بالقمر وأُعلن خروجه عن الخدمة بسبب تعرضه لعطل أدى إلى

تخريب الألواح الشمسية. وفي عام 2014م وُضع القمر ALOS-2 في المدار ليستمر في التصوير باستخدام الجهاز ALOS-PALSAR.

شكل (111): صورة لجزء من مدينة سان بطرسبرغ في روسيا ملتقطة بآلة تصوير بنكروماتية من القمر Alos عام 2009 بقدرة تمييز 2,5 متراً

شكل (112): صورة لمنطقة Annir في اليابان ملتقطة من القمر Alos عام 2007 بوساطة الماسح AVNIR-2 بقدرة تمييز 10 متراً

Damascus University



شكل (113): صورة ثلاثية الأبعاد تبين جبل Fuji في اليابان ملتقطة بوساطة الماسح الراداري SAR من القمر Alos عام 2007 بقدرة تمييز 100 متراً

17.5–الأقمار الصناعية ورد فيو World View:

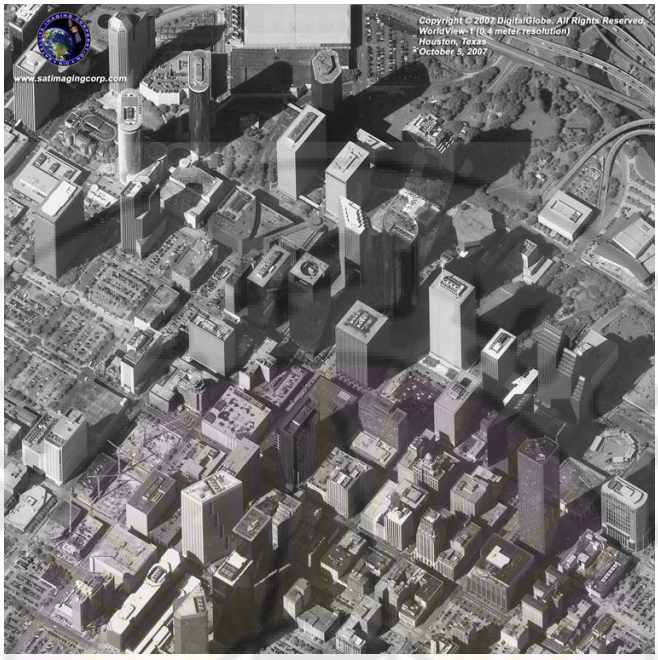
تُعدّ هذه السلسلة من الأقمار الصناعية الحديثة التي أطلقتها الولايات المتحدة الأمريكية (شركة DigitalGlobe) وهي خليفة للقمر QuickBird-2، حيث أُطلق الأول منها في 2007/9/18 والثاني في 2009/11/4 .

كان آخر هذه السلسلة القمر WorldView–4 (أو GeoEye-2 سابقاً بعد اندماج شركتي GeoEye و DigitalGlobe عام 2013م) الذي أطلق في 2016/12/11 من قاعدة فاندنبرغ Vandenberg في كاليفورنيا على ارتفاع 617 كم، بتكرارية زمنية تصل إلى 3 أيام، ويحمل أجهزة استشعار تقوم بالتصوير متعدد الأطياف في أربعة مجالات طيفية:

- المجال الأزرق (0,45–0,51 ميكرومتر)
- المجال الأخضر (0,51–0,58 ميكرومتر)
- المجال الأحمر (0,65–0,69 ميكرومتر)
- المجال تحت الأحمر القريب (0,78–0,92 ميكرومتر)

بالإضافة إلى التصوير في المجال البنكروماتي (0,45–0,80 ميكرومتر)، بقدرة تمييز مكانية تصل إلى 46 سم و1,1 م في المجال متعدد الأطياف ويبلغ عرض الشريط الذي يقوم بتصويره 17,6 كم ويستطيع جمع بيانات عن مساحة تصل إلى 680000 كم^2. عدا عن ذلك فهو يستطيع أن يقدم صوراً ستيريوسكوبية، انظر **الشكلين** (**114**) (**115**). انتهت مهمة هذا القمر في بداية 2019.

تستخدم بيانات هذا القمر ذي قدرة التمييز العالية في تطبيقات استعمالات الأراضي ومراقبة الكوارث الطبيعية والبيئية ووضع الخرائط وإدارة الغابات وغيرها.



شكل (114): جزء من مدينة هيوستن ملتقطة بوساطة World View-1

في الثاني من تشرين الأول 2007 بقدرة تمييز 0,46 متراً

شكل (115): صورة لبرج بيزا المائل في إيطاليا ملتقطة بوساطة World View-4

في 28/3/ 2017

18.5- أقمار جيو آي GeoEye:

أُطلقت هذه السلسلة من الأقمار من قبل شركة DigitalGlobe في الولايات المتحدة الأمريكية من قاعدة فاندنبرغ Vandenberg في كاليفورنيا بغية وضع الخرائط ورصد البنية التحتية ولاسيما الكبيرة منها وتحديد الكوارث والاستعداد لها وأخذ الاحتياطات اللازمة وإدارة الكوارث الطبيعية.

أُطلق الجيل الأول منها **GeoEye-1** (سابقاً **OrbView-5**) في 2008/9/6 على ارتفاع 681 كم ويحمل آلتي تصوير إحداهما بنكروماتية والأخرى متعددة الأطياف تقومان بالتصوير في المجالات الآتية:

- المجال الأزرق وطوله بين 0,45 – 0,51 ميكرومتر
- المجال الأخضر وطوله بين 0,52-0,58 ميكرومتر
- المجال الأحمر وطوله 0,65- 0,69 ميكرومتر
- ومجال تحت أحمر قريب بطول 0,78- 0,92 ميكرومتر

بقدرة تمييز مكانية تصل إلى 41 سم في المجال البنكروماتي وتصل في المجال متعدد الأطياف إلى 1,64 م ويكمل دورته حول الأرض بأقل من ثلاثة أيام ومن ثمّ يستطيع مراقبة المظاهر سريعة التغير ووضع خرائط لها. ويستطيع أن يجمع معلومات عن مساحة تصل إلى 350000 كم^2 في اليوم بشريط عرضه 15,2 كم، انظر **الشكل (116)**.

أما الجيل الثاني منها **GeoEye-2** والذي أُطلق بعد سنوات عدة عام 2016م على ارتفاع 617 كم، فيحمل أجهزة تصوير أدق حيث تصل الدقة إلى 30 سم في المجال البنكروماتي وتصل في المجال متعدد الأطياف إلى 1,24 م. ويقدّم معلومات عن مساحة تصل إلى 680000 كم^2 في اليوم بشريط عرضه 13,1 كم، انظر الجدول **(120)**.

شكل (116): صورة لسد هوفر في الولايات المتحدة المريكية ملتقطة بوساطة القمر GeoEye-1 في 2009/1/10 بقدرة تمييز 40 سم

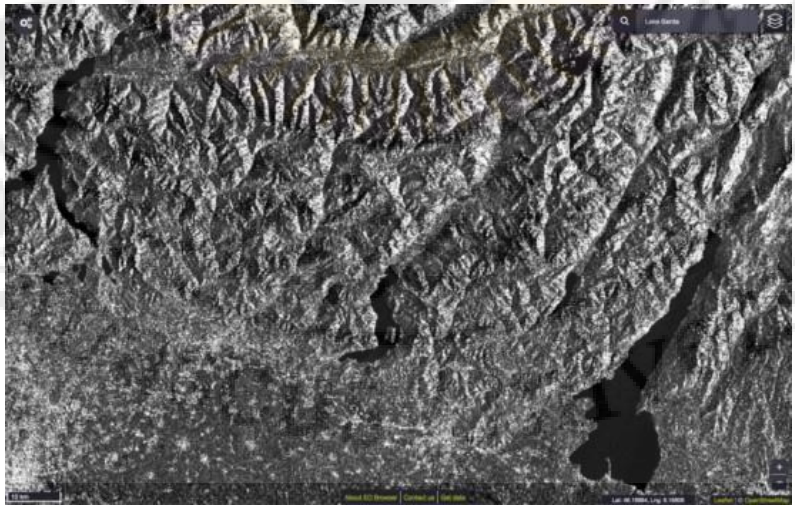
جدول (20): خصائص القمر جيو آي 1 و2

الخصائص	GeoEye-1	GeoEye-2
عام الإطلاق	2008	2016
الارتفاع بالكم	681	617
الدقة الطيفية	PAN / 4 MS	
دقة التمييز المكانيةPAN	31 سم	41 سم
دقة التمييز المكانية MS	1،64 م	1,24 م
عرض الشريط المصور	15،2 كم	13,1 كم
المساحة المصورة في اليوم	350000 كم^2	680000 كم^2

19.5- أقمار سانتينل **Sentinel**:

أُعدّت أقمار Sentinel-1 وفقاً لبرنامج كوبرنيكوس الفضائي التابع للاتحاد الأوروبي (وهو الاسم الجديد لبرنامج مراقبة الأرض التابع للمفوضية الأوروبية والمعروف سابقاً باسم GMES) بهدف استبدال أقمار EnviSat وERS (راجع **الجدول 7**) المحملة بأجهزة رادار بدقة 10 م وأيضاً لضمان استمرارية الحصول على بيانات هذه الأجهزة.

وفي كل مهمة فضائية يتم إرسال قمرين صناعيين، يُطلق الأول ثم يتبعه الثاني على المدار نفسه. فقد أُطلق Sentinel-1A و Sentinel-1B من محطة غويانا الفرنسية في عامي 2014م و2016م على التوالي في مدار قطبي على ارتفاع 693 كم وبدقة تمييز مكانية تتراوح من 5-25 م حسب المشعر المستخدم وبتكرارية زمنية كل 12 يوماً. إن جهاز الرادار المحمّل (SAR) يعمل في المجال C-Band ويُصور في الأوقات جميعها في النهار والليل حتى في ظروف جوية غائمة (**انظر الشكل 117**). وتُستخدم البيانات الرادارية لهذه الأقمار في دراسة الكوارث وتغيرات القشرة الأرضية.



شكل (117): صورة رادارية (SAR) لبحيرة غاردا في إيطاليا ملتقطة بوساطة القمر Sentinel-1 في 3 تموز 2017

في 23 حزيران عام 2015م أُطلق Sentinel-2A على ارتفاع 786 كم وبشريط أرضي عرضه 290 كم وبتكرارية زمنية كل 10 أيام وهو مخصص للعمل لمدة سبع سنوات. وتلاه القمر Sentinel-2B لينضم إلى مداره عام 2017م.

تحمل أقمار Sentinel-2 جهاز تصوير متعدد الأطياف Multi Spectral Imager (MSI) ويصور ضمن 13 مجالاً طيفياً من المجال المرئي وتحت الأحمر القريب إلى الموجات تحت الحمراء القصيرة بدقات تمييز مكانية متنوعة من 10-20-60 م (انظر **الجدول 21**).

ويمثّل هذا القمر من أقمار Sentinel أول مهمة مدنية للمراقبة البصرية للأرض لكونه يضم ثلاثة مجالات في الحافة الحمراء (Red Edge) والتي توفر معلومات أساسية عن حالة الغطاء النباتي.

تستخدم صور Sentinel-2 في تطبيقات متنوعة في الزراعة والغابات وتغير غطاء الأراضي واستعمالاتها ورسم خرائط للمتغيرات الفيزيائية مثل مؤشر مساحة الورقة (Leaf Area Index) ومحتواها المائي واليخضوري وتطبيقات أخرى في الكوارث الطبيعية كالزلازل والبراكين وفي مراقبة السواحل (انظر **الشكل 118**).

شكل (118): صورة لمرفأ مدينة برنديسي جنوب إيطاليا ملتقطة بوساطة القمر Sentinel-2B في 15 آذار 2017 بقدرة تمييز مكانية 10 متراً

جدول (**21**): خصائص المجالات الطيفية للقمر **Sentinel-2**

رقم المجال	المجال الطيفي	متوسط طول الموجة (بالميكرومتر)	قدرة التمييز المكانية (بالمتر)
1 (Deep Blue)	الأزرق العميق	443	60
2 (Blue)	الأزرق	490	10
3 (Green)	الأخضر	560	10
4 (Red)	الأحمر	665	10
5 (Red Edge)	الحافة الحمراء	705	20
6 (Red Edge)	الحافة الحمراء	740	20
7 (Red Edge)	الحافة الحمراء	783	20
8 (NIR)	تحت الأحمر القريب	842	10
A8 (NIR)	تحت الأحمر القريب	865	20
9 (NIR)	تحت الأحمر القريب	945	60
10 (SWIR)	تحت الأحمر القصير	1375	60
11 (SWIR)	تحت الأحمر القصير	1610	20
12 (SWIR)	تحت الأحمر القصير	2190	20

في 16 شباط عام 2016م أُرسل Sentinel-3A على ارتفاع 815 كم ثم أُرسل Sentinel-3B عام 2018م بهدف دراسة البحار والمحيطات ويقدم صوراً كل 27 يوماً باستخدام مشعرات متنوعة أهمها:

- راديومتر ميكروي لقياس محتوى الماء في الغيوم ومحتوى بخار الماء MicroWave (MWR) Radiometer
- جهاز راداري لقياس ارتفاع الأمواج بدقة تمييز مكانية (300 م) Radar Altimeter (SRAL)

- راديومتر لقياس حرارة البحر واليابسة بدقة تمييز مكانية (من 0,5 -1 كم) Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR)
- جهاز تصوير ملون للبحر واليابسة بدقة تمييز مكانية (300 م) (Ocean and Land Color Instrument (OLCI).

مازال العمل مستمراً لإرسال المزيد من هذه الأقمار مع بداية عام 2021م حيث ستُكرّس مهمة القمرين Sentinel-4 و Sentinel-5 لدراسة تركيب الغلاف الجوي وغازات تلوث الهواء على نوعين مختلفين من المدارات. ستُركب أجهزة القمر Sentinel-4 على منصات تابعة للقمر Meteosat الذي يدور في مدار جغرافي، أما القمر Sentinel-5 ستُركب أجهزته على منصات تابعة للقمر MetOp الذي يدور في مدار قطبي قريب من الأرض.

سيستخدم Sentinel-4 مطياف تصوير بالمجال فوق البنفسجي والمرئي وتحت الأحمر القريب UVN (UV/Visible/Near-infrared) الذي يختلف عن مطياف Sentinel-5 الذي يصور بالمجال فوق البنفسجي والمرئي وتحت الأحمر القريب وأيضاً في الأشعة تحت الحمراء القصيرة UVNS (Ultra-Violet /Visible/Near Infrared/SWIR).

جدول (**22**): المشعرات المحملة على أقمار **Sentinel**

اسم القمر	هدف المهمة	نوع المشعر
Sentinel-1A Sentinel-1B	تصوير راداري	C-Band SAR
Sentinel-2A Sentinel-2B	تصوير مرئي وتحت الأحمر	MSI
Sentinel-3A Sentinel-3B	تصوير راداري وراديومتري ومتعدد الأطياف لدراسة البحار والمحيطات	MWR SRAL SLSTR OLCI
Sentinel-4 Sentinel-5	تصوير فوق بنفسجي ومرئي وتحت الأحمر القريب والقصير	UVN UVNS

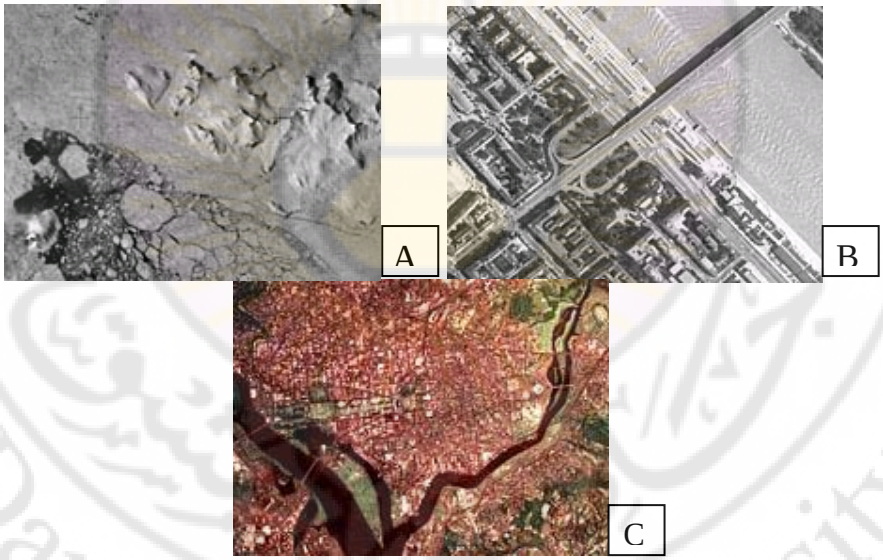
20.5- آلات التصوير الروسية:

إضافة إلى ما تقدمه المواسح المختلفة من بيانات، توجد آلات تصوير فوتوغرافية روسية الصنع تتميز بقدرة تمييز عالية وتقدم بيانات تفصيلية ودقيقة عن المناطق التي تُصوّرها. وبما أن دقة البيانات في التصوير الفوتوغرافي تتعلق بارتفاع الطائرة والبعد المحرقي لآلة التصوير فقد استُخدم العديد من هذه الآلات ضمن رحلات الفضاء الروسية المأهولة حيث استُخدم آلات تصوير قياسية ذات عدسات كبيرة على متن المكوكات الفضائية. فقد قامت محطة مير المأهولة بالتقاط صورٍ عديدة لسطح الأرض بوساطة آلات بصرية وأُرسلت الأفلام المصُورة إلى محطات المعالجة الأرضية بوساطة المركبة الروسية سيوز حيث تميزت هذه الأفلام بإمكانية إخراجها بأشكال عدة: صور مطبوعة أو بيانات رقمية عالية الدقة بنكروماتية وملونة.

تستطيع آلة التصوير KFA 1000 وآلتا التصوير KATE 200 و MK4 أن تلتقط صوراً بقدرة تمييز عالية وبتغطية أمامية تصل إلى 60% ومن ثمّ فهي مناسبة

للتحليل ثلاثي الأبعاد. كما استطاعت الأقمار الصناعية من عائلة كوزموس Cosmos من التقاط صور بنكروماتية وملونة عالية الدقة بوساطة آلة التصوير KVR1000 لكن عمر هذه الأقمار لا يزيد على 45 يوماً مما يجعل استخدام الصور محدوداً عدا عن ذلك فإن لهذه الأقمار خاصية عسكرية ومن ثمّ فإن بياناتها غير متاحة للاستخدام.

تختلف أبعاد الأفلام التي تلتقطها آلات التصوير الروسية من آلة تصوير إلى أخرى حيث تبلغ أبعاد الأفلام التي تستخدمها آلة التصوير KATE 1000 18×18 سم أو 30×30 سم. أما أبعاد الأفلام التي تستخدمها آلة التصوير KATE 200 فهي 18×18 سم (انظر **الشكل 119 والجدول 23**).



شكل (119): صور ملتقطة بآلات تصوير روسية مختلفة

A صورة للقارة القطبية ملتقطة بآلة التصوير TK 250 وبعدها المحرقي 25 سم وأبعاد الفيلم المستخدم 30× 30 سم

B صورة تظهر جزءاً من مدينة فيينا ملتقطة بوساطة آلة التصوير KFA 3000 التلسكوبية بفيلم ابعاده 30× 30 سم

C صورة تبين واشنطن ملتقطة بوساطة آلة تصوير KFA 3000 بفيلم أبعاده 30×30 سم

جدول (**23**): خصائص بعض آلات التصوير الروسية

نوع آلة التصوير	قدرة التمييز المكانية بالمتر	عرض الشريط المصور بالكم	المقياس المطلوب	الأقنية الطيفية	سعر الفيلم بالدولار
KFA1000	10-4	120×120	15000/1	قناة بنكروماتية قناتين متعددة الأطياف	1800
KFA3000	2	21×21	50000/1	قناة بنكروماتية قناتين متعددة الأطياف	4000
KVR1000	2	40×40	50000/1	قناة بنكروماتية	تبدأ من 1000
MK4	8	170×170	20000/1	أربع أقنية متعددة الأطياف	1050
KATE200	20	225×225	20000/1	ثلاث أقنية طيفية	2400

الفصل السادس

تطبيقات الاستشعار عن بعد

Applications of Remote Sensing

1.6– مقدمة

2.6 – تطبيقات زراعية

3.6 – تطبيقات مناخية

4.6– تطبيقات الاستشعار عن بعد في مراقبة الغابات ودراستها

5.6 – تطبيقات جيولوجية

6.6 – تطبيقات هيدرولوجية

7.6 – تطبيقات غطاءات الأراضي واستعمالاتها

8.6– تطبيقات الخرائط وتطويرها

9.6– تطبيقات مراقبة البحار والمحيطات

10.6– تطبيقات بيانات الليدار Lidar

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل السادس: تطبيقات الاستشعار عن بعد

1.6- مقدمة

بما أن معطيات الاستشعار عن بعد هي صور ملتقطة للأرض، فذلك يتيح استخدامها في العلوم التي تدرس الأرض جميعها بمظاهرها كلها (طبيعية وبشرية). ونحن بوصفنا جغرافيين فإن مجالات اهتماماتنا البحثية تتضمن التطبيقات الآتية:

2.6- تطبيقات زراعية

إن تطبيقات الاستشعار عن بعد في حقل الزراعة متنوعة ومختلفة، إذا ما أُخذ بالحسبان المركّبات التي تدخل في دراسة متطلبات العالم ومنتوجاته من المحاصيل الزراعية. إن المشاكل الفيزيائية والبيولوجية والتكنولوجية التي تعانيها الزراعة الحديثة كثيرة، وهي مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالمشاكل العالمية للسكان والطاقة ونوع البيئة والمناخ وحالة الجو. وتتأثر هذه العوامل بدورها بقيم الإنسان وتقاليده وبأنظمته الاقتصادية والسياسية والاجتماعية.

1.2.6- الانعكاس الطيفي للنبات:

إن الانعكاس الطيفي للنبات الأخضر مميز ومتغير من طول موجي لآخر.

- ففي النطاق المرئي من الطيف: تسيطر الصبغات على الاستجابة الطيفية للنبات، حيث نجد أن اليخضور (الكلوروفيل) يمتص معظم الطاقة في نطاقي الأشعة الزرقاء والحمراء (0.45- 0.65) ميكرومتر، ولا ينعكس من الأشعة إلّا (10%) أو أقل من هذين النطاقين، هذا الامتصاص له أهميته في عملية التمثيل الضوئي اللازمة لنمو النبات.

- ولكن في نطاق الأشعة الخضراء: نجد أن مقداراً أكبر من الطاقة ينعكس ولذلك يبدو النبات ذو النمو الجيد أخضر، ولكن عندما تكون الظروف البيئية غير مناسبة لنمو نباتي جيد أو عندما يكون النبات واقعاً تحت آفة فإن إنتاج اليخضور يقل، ومن ثمّ يقل الامتصاص ومن ثم يزيد الانعكاس لاسيما في النطاق الأحمر من الطيف ولذلك فإن أوراق النبات في هذه الحالة تبدو في حالة صفراء أو حمراء، وهذا ما نشاهده في فصل الخريف على أوراق النبات، عندما يقل إنتاج اليخضور ويزيد إنتاج الصبغات الصفراء (الكاروتين والزانثوفيل) والحمراء (آنثوسيانيثز).
- وفي نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة: يلاحظ ازدياد في انعكاسية النباتات بشكل واضح عند الانتقال من المجال الطيفي المرئي إلى المجال تحت الأحمر القريب وخاصة عند الطول الموجي (0.7 ميكرومتر)، وتتميز النباتات السليمة في هذا المجال بانعكاسية ونفوذية عاليتين جداً وامتصاصية منخفضة جداً مقارنة بالأطوال الموجية المرئية، وتتراوح النسبة المئوية للانعكاسية في المجال الطيفي تحت الأحمر القريب لدى غالبية النباتات بين (45-50%) والنفوذية بين (45-50%) أما الجزء الباقي والأقل من (5%) فيمتص من قبل النبات، وقد أكدت الدراسات التي قام بها الكثير من الباحثين أن التركيب الداخلي لأوراق النبات هو الصفة الأساسية التي تؤثر بدرجة كبيرة على آلية التفاعل بين النبات والأشعة تحت الحمراء القريبة، ويُعدّ تركيب الورقة ومكوناتها من الصفات المهمة التي تؤثر في الاستجابة الطيفية للأوراق النباتية.
- وفي نطاق الأشعة تحت الحمراء المتوسطة: تسيطر أطوال الأشعة في عملية امتصاص الماء للطاقة على انعكاس هذه الأشعة، هذه الأطوال هي: 1.4 و1.9 و2.7 ميكرومتر، وتبلغ نسب الانعكاسات لهذه الأطوال على التوالي: أقل من 20 % وأقل من 10 % وحوالي صفر، وفي هذا النطاق تحدث أعلى

نسبة انعكاس من النبات في الطول الموجي 1.6 و2.2 ميكرومتر ومن الطبيعي أن تقل نسب الامتصاص وتزداد نسب الانعكاس كلما قل المحتوى الرطوبي للنبات، وبشكل عام فإنه إذا قل محتوى النبات من الرطوبة عن (40%) فان الانعكاس قد يماثل ذلك الذي يحدث في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (45-50%).

يمكن القول إنه توجد اختلافات واضحة في انعكاسية النباتات في النطاقات المرئية وتحت الحمراء القريبة والمتوسطة، ففي المجال المرئي تكون الأصبغة النباتية الموجودة في الأوراق هي العامل المؤثر في الانعكاسية، حيث تمتص معظم الطاقة الساقطة وينعكس القسم الآخر وينفذ قسم ضئيل جداً، أما التركيب الداخلي للأوراق فيؤثر في الانعكاسية في المجال تحت الأحمر القريب، إذ ينعكس حوالي نصف الطاقة الساقطة ويمتص جزءاً قليلاً جداً منها من قبل الورقة وينفذ الباقي منها، ويكون المحتوى الرطوبي الكلي في النبات مسؤولاً عن الانعكاسية عند منطقة الأشعة تحت الحمراء المتوسطة لأن معظم الطاقة الساقطة يمتصها ماء الورقة وينعكس الباقي ولا يزال هناك الكثير مما ينتظر الدراسة حول الخواص الطيفية للأنواع النباتية المختلفة التي تؤثر في أنماط الاستجابة الطيفية المقاسة بأنظمة الاستشعار عن بعد.

2.2.6- تطبيقات الاستشعار عن بعد في مجال الزراعة

إن استخدام الاستشعار عن بعد في الزراعة موضوع كبير وذو تفاصيل كثيرة حيث يمكن من خلال الصور الجوية والفضائية التعرف على:

1- أنواع المحاصيل وتصنيفها:

من خلال تفسير الصور الفضائية والجوية، يمكن التعرف على أنواع المحاصيل بدراسة أنواع استجابتها الطيفية ونسيج صورها. فالتعرف الناجح للمحاصيل يتطلب معرفة مراحل نمو كل محصول في المنطقة المراد جردها وتُلخص هذه المعلومات على نحو

نموذجي، بشكل جدول زمني للمحاصيل تُبين فيه أوضاع التنامي المتوقعة لكل محصول ومظهره خلال فصول السنة. والحصول على صور خلال فترات زمنية مختلفة في أثناء دورة نمو المحصول يفيد كثيراً في عملية التفسير بسبب التغيرات التي تطرأ على خصائص المحصول في أثناء مراحل نموه. ويفيد في تقييم حالة المحاصيل.

2- تقدير كمية المحاصيل وإنتاجيتها:

إن استخدام سلسلة زمنية من الصور الفضائية والجوية وتحليلها ووضع جداول بيانات لها يمكّن الباحثين من معرفة مساحات الأراضي المزروعة وتغيراتها بمرور الزمن، ومن ثمّ معرفة كمية المحاصيل الناتجة عنها كما يمكّن استخدام القرائن النباتية من معرفة مدى سلامة النباتات المزروعة، وبتطبيق العمليات الرياضية المناسبة يمكن رصد الإنتاجية المتوقعة لهذه النباتات، حيث توضع نماذج (موديلات) لتقدير إنتاجية المحاصيل من خلال ربط قيم الانعكاس الطيفي في الصورة بالكتلة الحيوية.

3- التعرف على الحالة الصحية للمحاصيل:

يفيد تفسير الصور الفضائية والجوية في تقدير حالة المحاصيل بطرائق مختلفة، فقد برهنت الصور الكبيرة المقياس على فائدتها في التزويد بمعلومات عن حالات الضرر الناجمة عن أمراض المحاصيل وأضرار الحشرات المختلفة التي تتعرض لها النباتات وأضرار الكوارث، وإنّ أنجح التطبيقات هي التي استخدمت تعددية طيفية وزمنية وخاصة في مجال الأشعة تحت الحمراء، حيث تختلف القيم الانعكاسية للنبات المريض عن القيم الانعكاسية للنبات السليم، ففي إحدى الدراسات التي أجريت لنبات القمح ارتفعت القيم الانعكاسية في النبات السليم بنسبة 4% عن القيم الانعكاسية للنبات المريض المصاب بالصدأ البني (صدأ الورقة). وقد قيست الانعكاسات الطيفية ضمن الأطوال الموجية من 0,750 إلى 1,120 ميكرومتر. أظهرت النتائج أن النباتات عندما كانت في مرحلة النمو الخضري الأعظمي أعطت اختلافاً واضحاً في الانعكاسات الطيفية ولاسيما في المجالين تحت الأحمر القريب وتحت الأحمر القصير (من 0,750 إلى 1,060 ميكرومتر)، يبين

الجدول (24) سبع قراءات متكررة للنباتات تظهر الاختلاف في القيم الانعكاسية في المجال تحت الأحمر القريب (من 0,790 إلى 0,810 ميكرومتر).

ومن الأمراض التي كُشف عنها من خلال تفسير الصور: تلف أوراق الذرة، تلف جرثومي لحبات الفاصولياء، ذبول البطاطا، صدأ ساق القمح والشوفان، التلف المتأخر لفطور البطاطا وفطر تربة الكرمة وغيرها.

الجدول (24) مقارنة بين الانعكاس الطيفي للنباتات السليمة، والمصابة بالصدأ البني خلال موسم النمو (2009/2008)

تواريخ قراءة الانعكاس الطيفي	الانعكاس الطيفي للنبات السليم (%)	الانعكاس الطيفي للنبات المريض (%)
2009/05/01	52.9	48.4
2009/05/05	50.5	46.9
2009/05/07	48.2	43.3
2009/05/11	43.7	39.8
2009/05/14	44.4	39.3
2009/05/18	40.9	34.3
2009/05/21	44.2	33.7

المصدر: المجلة السورية للبحوث الزراعية

ومن الأنماط الأخرى للأضرار التي كُشف عنها الأمراض الناجمة عن علل الرطوبة ونقصان الحديد والنتروجين والملوحة الزائدة للتربة والحت المائي والريحي وتأثير القوارض وتلوث الهواء والأضرار التي يسببها المزارع.

إضافةً إلى الأضرار الناجمة عن الأمراض والحشرات والعوامل الأخرى، يمكن أيضاً استخدام تفسير المرئيات (الصور الجوية والفضائية) في تقدير الأضرار الناجمة عن بعض الكوارث مثل الفيضانات والجفاف والصقيع وتساقط البَرَد والحرائق والزوابع والأعاصير.

4- دراسة الدورة الزراعية للمحاصيل

بالإضافة إلى ما ذكر، فإن العديد من التطبيقات الزراعية الأخرى يمكن أن يتم من خلال تفسير الصور، فعلى سبيل المثال: تحديد المناطق التي تحتاج إلى تحكم في عمليات الانجراف ونمو الأعشاب أو التسميد أو إعادة الزرع أو التسييج أو إلى إجراءات علاجية أخرى، جرد حيوانات المزارع، وتحديد مدى صلاحية نظم الري المستعملة لري الحقل كاملاً وبصورة متجانسة.

3.2.6- المؤشرات النباتية

المؤشرات النباتية الطيفية هي إحدى تقانات الاستخلاص الطيفي للصور الفضائية تستخدم فيها المعادلات الرياضية لدراسة الغطاء النباتي وتحليله، من خلال إبراز الخصائص الطيفية للنباتات ومن ثمّ تحديد كثافة الغطاء النباتي والكتلة الحيوية. وقد وضع العديد من المؤشرات النباتية الطيفية، حيث يستخدم كلٌّ منها لدراسة الظواهر الطبيعية والكشف عن التغيرات في المشاهد الفضائية تبعاً لمتطلبات الدراسة، وتُعدّ قرينة التغيرات النباتية (NDVI) من أهم هذه المؤشرات.

حيث قام (Rouse) وآخرون عام (1974م) بتطوير القرينة العامة أو ما يسمى قرينة التغيرات النباتية، والتي تُمكّن من مراقبة الكتلة الحيوية للغطاء النباتي عن طريق قياس الأشعة الطيفية المنعكسة والناجمة عن التفاعل بين النباتات والأشعة الساقطة عليها باستخدام مجالين طيفيين هما الأشعة المرئية الحمراء (R) والأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR)، حيث إنّ مجال الأشعة الحمراء مرتبط ارتباطاً وثيقاً بكمية اليخضور في النباتات، ويكون امتصاص الأشعة في هذا المجال أعظمياً، وكلما كانت عملية التركيب الضوئي أشد كان الامتصاص أكبر ومن ثمّ تقل نسبة الأشعة المنعكسة مما يدل على كثافة الغطاء النباتي. في حين أن انعكاس الأشعة تحت الحمراء القريبة يتناسب طرداً مع

كثافة النباتات، حيث وجد أن النباتات الخضراء تعكس نسبة كبيرة من الأشعة تحت الحمراء القريبة الساقطة عليها.

تمثل الصورة الناتجة عن حساب معادلة قرينة التغيرات النباتية (NDVI) انتشار الغطاء النباتي وتوزعه، وتتناسب كثافة الغطاء النباتي وحيويته طرداً مع قيمة قرينة (NDVI) وذلك لأن الأشعة تحت الحمراء القريبة المنعكسة تتناسب طرداً مع المحتوى المائي وحجم الخلايا النباتية بينما تكون العلاقة عكسية مع الأشعة الحمراء بسبب زيادة الامتصاص من قبل اليخضور بعملية التمثيل الضوئي.

تحسب قيمة القرينة النباتية (NDVI) بالمعادلة الآتية:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

إنّ مؤشرات النباتات للأقمار الصناعية جميعها تقريباً تستخدم هذه الصيغة لقياس كثافة نمو النباتات على الأرض، وتتدرج قيمة (NDVI) من /-1/ إلى /+1/، إنّ القيم المنخفضة جداً من هذه القرينة NDVI (0.1 وأدناه) تتطابق مع المناطق الجرداء من الصخور والرمال أو الثلج، أما القيم المعتدلة (0.2- 0.3) فإنها تمثل الشجيرات والمراعي، في حين أن القيم العالية (0.6 إلى 0.8) تشير إلى الغابات المطيرة المعتدلة والمدارية. وتدل القيم الأصغر من /0.001/ على الغيوم، ومن ثمّ كلما كانت قيمة القرينة النباتية أقل كانت درجة تدهور الغطاء النباتي أكبر، بينما يدل ارتفاعها على زيادة كثافة النباتات الخضراء، أما القيم القريبة من الصفر والقيم السالبة فتدل على عدم وجود مظاهر نباتية مثل المناطق الجرداء (الصخر– التربة) والماء والثلج والجليد والغيوم.

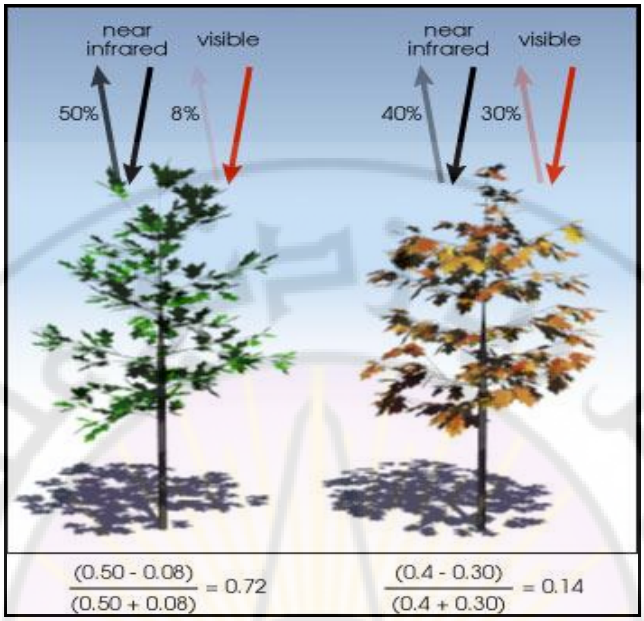
بشكل عام، إذا كانت قيم الإشعاع المنعكس أعلى بكثير في أطوال الموجة تحت الحمراء القريبة ومن أطوال الموجة المرئية، عندها من المحتمل أن تكون النباتات في عنصر الصورة أجمات (جنبات) وربما تحتوي بعض أنواع الغابة، وإذا كان الاختلاف قليلاً جداً

في كثافة أطوال الموجات المرئية وتحت الحمراء القريبة المنعكسة فإن النباتات من المحتمل أن تكون متناثرة وربما تتألف من أراض عشبية، توندرا، صحراء.

شهدت قرينة التغيرات النباتية NDVI استخداماً واسع النطاق في النظم البيئية للمراعي، وتشمل هذه الاستخدامات تقييم أو مراقبة:

- ديناميكية الغطاء النباتي أو التغييرات الفيزيولوجية النباتية على مر الزمن.
- إنتاج الكتلة الحيوية.
- آثار الرعي (رعي الماشية) أو الصفات المتعلقة بإدارة المراعي.
- التغيرات في حالة المراعي
- الغطاء النباتي أو تصنيف الغطاء الأرضي.
- رطوبة التربة.
- فصل الكربون أو إذابة غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2.

هذا ويمكن من خلال تطبيق هذه المعادلة تحديد النباتات السليمة والمريضة (انظر **الشكل 120**)، حيث إنّ الغطاء النباتي السليم (إلى اليسار) يمتص معظم الضوء المرئي الذي يصطدم به، ويعكس جزءاً كبيراً من ضوء الأشعة تحت الحمراء القريبة. أما النباتات غير السليمة أو المريضة (إلى اليمين) فإنها تعكس بشكل أكبر ضوء الأشعة المرئية وبشكل أقل ضوء الأشعة تحت الحمراء القريبة. وتمثل الأرقام على الشكل القيم الفعلية، ولكن الغطاء النباتي الحقيقي يكون أكثر تنوعاً بكثير.



شكل (120): تطبيق مؤشر (NDVI) على النبات السليم والمصاب

3.6- تطبيقات مناخية

يعود دخول معطيات الاستشعار عن بعد في دراسة المناخ والطقس إلى أواخر خمسينيات القرن الماضي، ثم بعد ذلك تزايد عدد الأقمار الصناعية الخاصة بالدراسات الميترولوجية، حيث إنّ التعرف على الحالة العامة للجو من حرارة وضغط جوي ورياح ورطوبة وأمطار وتشكل الغيوم والضباب وغيرها، ودراستها يمكن أن يتم من خلال معطيات الاستشعار عن بعد، فمن المعروف أن تحرك الكتل الهوائية يحدث في طبقات الجو الدنيا حتى ارتفاع 11 كم وفي هذه الطبقات تتشكّل الغيوم التي تحوي بخار الماء، ومن ثمّ تحدث العمليات الميترولوجية العديدة كالمطر والثلج، والعواصف الثلجية والضباب وغيرها. لذلك نجد أن الاستشعار عن بعد يؤدي دوراً رئيساً في تقديم معلومات كثيرة عن الحالة الجوية بوساطة المعطيات الفضائية المستخدمة في الدراسات الميترولوجية، والتي

تُعطى ضمن الأشعة المناسبة للدراسات الميترولوجية. وإن أهم الأشعة المستخدمة في هذه الدراسات هي:

- الأشعة المرئية في المجال الطيفي 0.4- 0.7 ميكرومتر.
- الأشعة الحرارية (تحت الحمراء) وطول موجاتها 10.5- 12.5 ميكرومتر.

هناك العديد من الأقمار الصناعية التي تدرس التغيرات المناخية وأحوال الطقس وأهمها: سلسلة أقمار NOAA وGOES الأمريكية التي أُرسلت لدعم علماء الأرصاد الجوية والغلاف الجوي. وأيضاً أقمار لاندسات (Landsat)، التي تصل قدرة تمييزها إلى 60 م في المجال الحراري، والمستشعرات المحمولة على متن القمر الصناعي Terra وهي: MODIS ذو قدرة التمييز المكاني 1 كم وبتكرارية زمنية 1-2 يوم، وAster، ذو قدرة تمييز مكانية 90 متراً وتكرارية زمنية كل 16 يوماً، وجهاز الاستشعار عالي التمييز AVHRR قدرة تمييزه المكانية 1.1 كم وبتكرارية زمنية مرورين باليوم وغيرها.

1.3.6- المظاهر المُناخية التي يمكن دراستها من معطيات الاستشعار عن بعد:

أولاً: الغيوم:

تُقدم الوسائط الفضائية الخاصة بالدراسات المناخية معلومات ضخمة عن الغيوم وأنواعها، ونشوئها، وتطورها، وذلك لما للغيوم من أهمية كبيرة بالنسبة للطقس، والعمليات المناخية في كل منطقة على حدة. بالإضافة إلى معرفة حركة الرياح وتوزع الإشعاع الشمسي وشدة التسخين.

ويمكن دراسة المظاهر الآتية المتعلقة بالغيوم:

1- رطوبة الغيوم:

إن دراسة رطوبة الغيوم ومعرفة الغيوم الرطبة والغيوم الجافة أصبح ممكناً وذلك من خلال قياس القدرة الانعكاسية التي تتعلق بما يلي:

- محتوى الغيوم من الماء.

- حرارة الغيوم.
- أطوال الموجات المستخدمة في التصوير: حيث إنّ استخدام الأشعة تحت الحمراء (IR) في التصوير يُقدم معرفة كبيرة عن محتوى الغيوم من الماء لأن القدرة الانعكاسية للغيوم المحملة بالماء أقل من الغيوم الجافة. كما أن الغيوم التي تحتوي على قطرات الماء السائلة أكثر امتصاصاً للأشعة، ومن ثمّ تكون قدرتها الانعكاسية أقل وتظهر بلون قاتم. أما الغيوم التي تحمل الماء بنسب أقل فتظهر بلون فاتح لأن قدرتها الانعكاسية أشد.

ومن خلال تحليل الصور الفضائية والقياسات الكمية للأشعة المنعكسة تم تمييز ثلاث مجموعات من الغيوم هي:

- غيوم تحوي على قطرات ماء سائلة.
- غيوم تحوي على قطرات ماء صلبة (ثلجية).
- غيوم تحوي على قطرات ماء مختلطة سائلة وصلبة.

2- معرفة حرارة الغيوم القريبة من سطح الأرض والبعيدة ومعرفة حرارة سطح الأرض:

يمكن معرفة درجة حرارة سطح الأرض إذا كان الجو خالياً من الغيوم، وذلك من خلال قياس الأشعة المحملة على متن الأقمار الصناعية المناخية (الميترولوجية). حيث إنّ القدرة الانعكاسية تتعلق بما يلي:

- طول الموجات المستخدمة في التصوير.
- رطوبة التربة.

أما عند قياس درجة حرارة سطح الأرض المغطى بطبقة كثيفة من غيوم السيروس فتكون النتائج غير دقيقة وذلك لأنها تعبر عن حرارة الجزء العلوي للغيوم وليس لسطح الأرض ومن ثمّ معرفة حرارة سطح الغيوم.

ثانياً: مراقبة حركة الرياح وسرعتها:

يمكن الحصول على معلومات خاصة عن الرياح، وسرعتها وذلك اعتماداً على قياس سرعة تحرك الغيوم وحرارتها. كما يمكن معرفة مواقع العواصف ومساراتها واتجاه الرياح وامتداد المنخفضات والمرتفعات الجوية وتتبعها، ودراسة الأعاصير واتجاهاتها وسرعتها.

تمر دراسة حركة الرياح وسرعتها استناداً إلى أنواع الغيوم بالمراحل الآتية:

أ- اختيار الغيوم المناسبة:

لا يمكن استخدام سائر أنواع الغيوم في معرفة اتجاه الرياح وسرعتها، ذلك لأن مدة بقاء بعض أنواع الغيوم قصيرة جداً. ولكن هناك غيوم لها أهمية كبيرة في دراسة حركة الرياح وتحديد سرعتها كالغيوم الكومولوسية (الركامية) المتطورة وغيوم الستراتوكومولس التي تستمر ساعات عدة.

كما أن الغيوم التي تشكل طبقات كثيفة في طبقة التروبوسفير وتتحرك بقوة نحو الأعلى تُعدّ من الغيوم الأهم في التعرف على حركة الرياح واتجاهها.

ب- تتبع سيرها:

إن لحركة الغيوم واتجاهها دوراً مهماً في تحديد اتجاه الرياح وسرعتها وتتم معرفة اتجاه الغيوم من خلال تحديد نقطة تشكل الغيوم، أي نقطة البداية ثم متابعة السير إلى نقطة النهاية.

ج- ترتيب ارتفاع الرياح:

إن معرفة ارتفاع الرياح عن سطح الأرض وترتيبه في مجموعات يتعلق بـ:

- معرفة الامتداد العمودي للغيوم.
- تحديد سرعة الغيوم.

بناءً على معرفة ذلك نجد أن قيم الرياح في الطبقات العليا للتروبوسفير تعكس العواصف دليلاً على نوع الغيوم الموجودة هناك.

ثالثاً: معرفة شدة التهطال:

من خلال استخدام أطوال موجية مختلفة في التصوير يمكن التعرف على التهطال، وذلك من خلال معرفة كمية الماء الذي تحمله الغيوم وتحديدها، ومن ثمّ يمكن تصنيف التهطال في ثلاث مجموعات:

1- تهطال ضعيف 1 مم /سا.
2- تهطال متوسط 10 مم / سا.
3- تهطال شديد (غزير) أكثر من 10 مم/سا.

رابعاً: معرفة العواصف الرعدية:

إن معرفة تشكل العواصف الرعدية أصبح ممكناً من خلال دراسة الصور الفضائية وتحليلها، ولا سيما المأخوذة في المجال الطيفي المرئي والمجال تحت الأحمر. حيث إنّ الصور الملتقطة في المجال الطيفي المرئي ذات قدرة تمييز (1كم) تفيد في تتبع مسار أقواس الغيوم ونموها وتطورها واندماجها مع بعضها الذي يؤدي إلى طقس عاصف.

خامساً: دراسة المناخ المحلي:

لقد أمكن في الفترة الأخيرة التعرف على المناخ المحلي، ودراسة ظواهر الطقس المرافقة كالبرق والرعد والتورنادو، وذلك من خلال التوزع الأفقي للغيوم ومعرفة حرارتها.

سادساً: ظاهرة الجزر الحرارية:

الجزر الحرارية: مصطلح مناخي يطلق على ظاهرة ارتفاع درجة حرارة الهواء في المدن المليونية والصناعية مقارنة بالمناطق المجاورة، وهي بهذا تُعدّ جزءاً من المناخ المحلي الذي يميز منطقة دون غيرها. وقد درسها العلماء سابقاً كظاهرة مناخية بطرق تقليدية تعتمد على أخذ درجات الحرارة من مناطق متعددة متجاورة ومقارنتها مع النشاط البشري وعدد السكان ثم التوصل إلى النتائج التي تُعمّم على المناطق المتشابهة في صفاتها جميعها.

إلا أن ظهور الأقمار الصناعية والتصوير الفضائي خلق ثورة علمية جديدة في تحديد نوعٍ آخرٍ من الجزر الحرارية يُدعى الجزر الحرارية السطحية الذي يعتمد على قياس درجة حرارة السطح بدلاً من درجة حرارة الهواء. فقد أصبحت دراسة الجزر الحرارية أسهل وأدق، فالصورة الفضائية تغطي مناطق واسعة وبأي وقت من السنة. ويمكن استخدام الصور الفضائية من أقمار NOAA أو GOES أو Landsat أو المشعر Aster وغيرها في دراسة الجزر الحرارية السطحية بالاعتماد على المجال الحراري الذي يقيس درجة حرارة السطح.

ويحوّل الإشعاع الحراري إلى درجات حرارة مئوية عن طريق المعادلة الآتية:

$$TB = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L} + 1\right)} - 273.15$$

حيث:

TB: درجة حرارة الإشعاع استناداً إلى الجسم الأسود الداخلي في المشعر

K1 وK2: ثوابت المعايرة الحرارية التي تتغير بتغير القمر الصناعي

L: الإشعاع الطيفي المقاس من قبل المشعر والذي ينتج عن طريق المعادلة الآتية:

$$L_\lambda = \alpha\,(DN) + \beta$$

حيث: a، B معاملات معايرة المشعر

بعد القيام بهذه العملية تُقارن درجات الحرارة الناتجة بنمط استخدام الأرض ثم تُصنّف درجات الحرارة إلى صفوف عدة حسب درجات الحرارة وبهذا يتم مقارنة أحجام الجزر الحرارية الناتجة للتوصل إلى نتائج البحث من أجل التوصل إلى أفضل التوصيات التي تحد من الظاهرة إلى حد كبير.

4.6- تطبيقات الاستشعار عن بعد في مراقبة الغابات ودراستها

تشكل الغابات نظاماً بيئياً فريداً ومصدراً اقتصادياً طبيعياً مهماً لذلك لا بد من مراقبتها وجمع المعلومات الدقيقة والمتجددة عنها. وتُستخدم تقانات الاستشعار عن بعد في إعداد خرائط الغابات وتحديثها وتصنيف الغابات وتحديد الأنواع النباتية ومراقبة التغيرات التي تطرأ عليها وتقييم عمليات التلف والإصابة بالحشرات والتعرض للحرائق وتحديد الأضرار وخاصة في المناطق الجبلية الوعرة صعبة الوصول. كما تُستخدم هذه التقانات في تقدير حجم الخشب الذي يمكن الحصول عليه من الغابة وذلك بالتكامل بين المعطيات الاستشعارية والعمل الميداني.

النقطة الأساسية في تفسير الصور التي تستخدم في الدراسات النباتية هو معرفة تطور اللاندشافت. حيث من المعروف أن اللاندشافت يتأثر بعاملين: الأول طبيعي، والثاني إنساني. ونتيجة لهذين العاملين يتشكل اللاندشافت فإما أن يكون لاندشافت طبيعياً أو من صنع الإنسان (لاندشافت زراعياً) أو من كليهما معاً. في اللاندشافت الزراعي يكون توزع النباتات محدداً من قبل الإنسان بينما يتشكل الغطاء النباتي في اللاندشافت الطبيعي نتيجة لتضافر عوامل طبيعية مختلفة ويمكن تمييزه من اللاندشافت الزراعي.

إن تحديد أنواع الأشجار استناداً إلى اختلاف أشكالها من خلال الصور يؤدي إلى توفير الوقت والجهد، ولا سيما في المناطق المدارية المطيرة التي تمتد على مساحات شاسعة، والغنية بالأنواع المختلفة من الأشجار ساقطة الأوراق، حيث يصعب العمل الحقلي للأسباب الآتية:

- شدة كثافتها.
- استمرار تبدل الأوراق فيها على مدار السنة.

- إمكانية ظهور النوع نفسه من الشجر على الصورة نفسها في درجة لونية وبنية مختلفة.

لذلك تُلتقط الصور لمناطق بمساحات نحو 10 هكتارات وتُدرس النماذج الرئيسة للأشجار ومجموعاتها ولا يُدرس كل نوع من الأشجار على حدة.

1.4.6- تحديد المجموعات النباتية وأنواع الأشجار

من خلال النظرة الأولى للصور ذات المقاييس الكبيرة يمكن تحديد الأنواع النباتية السائدة بشكل واضح، حيث يمكن تمييز الأشجار الإبرية من الأشجار الورقية بسهولة، ويعتمد مدى القدرة على تعرّف أنواع الأشجار من خلال الصور على مقياس الصورة وخصائصها. ويستفاد كثيراً في التعرف على الأشجار من صفات شكل الشجرة التي تتضح على الصور كبيرة المقياس، مثل شكل تاج الشجرة ونمط تفرعها. غير أن إمكانية التعرف تتناقص بالتدريج كلما تناقص المقياس. وفي النهاية تضيع الخصائص لكل من الأشجار وتصبح غير قابلة للتمييز.

إن دراسة المجموعات النباتية أظهرت أن المواقع المتشابهة بشروطها الطبيعية تتوافر فيها دائماً مجموعات كاملة من الأنواع النباتية المتجانسة التي لا تتوافر في شروط طبيعية أخرى ومن هنا ينشأ مفهوم علاقات الأنواع وترابطها مع بعضها بشكل واضح اعتماداً على الموقع.

من وجهة نظر جغرافيّة يجب تأكيد على أن لكل مجموعة نباتية تظهر في الصورة الجوية والفضائية أهمية كبيرة في تحديد اللاندشافت، إلا المجموعات النباتية التي تمتد على مساحات صغيرة، فإنه من النادر أن يكون لها أهمية في دراسة النباتات ومجموعاتها من قبل الجغرافيين، إلا في حال كانت أشكال هذه المجموعات النباتية ذات المساحات الصغيرة وحدودها ظاهرة بشكل واضح على الصورة.

يُعدّ النبات في الدراسات الإقليمية وتحديد الأقاليم الطبيعية مؤشراً أساسياً في تبيان حدود الأقاليم، ويظهر ذلك بوضوح على الصور، ويمكن التعرف على حدود الأقاليم من خلال تغير درجة القتامة وخصائص البنية أو النسيج الظاهر في الصورة كعناصر مباشرة، وكذلك الخصائص المكانية كعناصر غير مباشرة.

ويمكن التعرّف على أنواع الأشجار على الصور بعملية الإقصاء (الحذف):

– الخطوة الأولى في ذلك إقصاء الأنواع التي يستحيل وجودها في المنطقة أو لا يتوقع وجودها فيها بسبب الموقع أو المناخ أو التضاريس.

– الخطوة الثانية تعيين مجموعة الأنواع التي توجد بالفعل بالاعتماد على معرفتنا بارتباط الأنواع بعضها ببعض وبمتطلباتها.

– الخطوة الأخيرة في ذلك هي التعرّف إفرادياً باستخدام المبادئ الأساسية لتفسير الصور.

من أجل تمييز أنواع الأشجار بشكل دقيق تُستخدم الصور ذات المقاييس الكبيرة ويستخدم المفسر خصائص الصور الفوتوغرافية وهي: (الشكل، والحجم، والطراز، والظل، والشدة اللونية والنسيج) حيث ينفرد كل نوع من الأشجار عن غيره من الأنواع بشكل تاجه وحجمه ومن ثم تُربط مع نتائج الدراسات الحقلية المختلفة. وفي بعض الأحيان ينجم عن ترتيب تيجان الأشجار في المناطق الكثيفة طراز يتميز به كثير من الأنواع. عندما تكون الأشجار منعزلة فإن ظلال الأشجار تعطيها منظراً جانبياً يفيد كثيراً في تحديد أنواعها. كما أن الانزياح التضاريسي الذي يلاحظ على حواف الصورة يعطي ما يشبه المنظر الجانبي للأشجار.

أما الشدة اللونية فقد يكون لها أثر كبير في معرفة حدود مجموعات متجاورة من أنواع مختلفة. كما أن تغير نسيج تيجان الأشجار يكون مهماً فلبعض الأنواع نسيج خشن، ولبعضها نسيج ناعم وللبعض الآخر نسيج متموج، وتفيد مقارنة (الاختلاف في مظهر الأشجار وتكراره باختلاف المناخ) Phenology في معرفة أنواعها. فتغير مظهر

الأشجار في الفصول المختلفة من السنة يمكّن أحياناً من تمييز الأنواع التي لا يمكن تمييزها في الصور الملتقطة في تاريخ واحد.

2.4.6- دراسة الاقتصاد الغابي

إن الهدف من استخدام الصور الجوية والفضائية في دراسة الاقتصاد الغابي هو الرغبة في التعرف على أنواع الأخشاب بالدرجة الأولى.

ويستخدم تفسير الصور على نطاق واسع لتقويم الأخشاب، والهدف من هذه العملية هو تقدير حجم الأخشاب التي يمكن الحصول عليها من شجرة واحدة أو من مجموعة أشجار. ولنجاح هذه العملية يجب أن يكون المفسر على علم تام بالمعطيات الجوية والأرضية معاً، فعمليات القياس التي تتم على الصور للأشجار الفردية أو مجموعات الأشجار تُنسب إحصائياً إلى عمليات القياس الأرضية لحجم الأشجار في بقع مختارة ومحددة. ثم تُعمم النتائج التي حُصل عليها على المناطق الكبيرة.

3.4.6- المعلومات الكمية التي يمكن الحصول عليها من صور الاستشعار عن بعد:

يمكن استخدام الصور ذات المقياس الكبير في إجراء عملية القياس المباشر لبعض المتغيرات التي تحدث للغطاء النباتي عامّةً، وللغطاء الغابي بشكل خاص منها:

1. معرفة المساحات التي يشغلها الغطاء النباتي.
2. حساب كثافة الغطاء النباتي (عدد النباتات في مساحة معينة).
3. تقدير إنتاجية الغطاء النباتي في كل منطقة في فترات زمنية مختلفة.

وفي مجال الغابات يمكن الحصول على المعلومات الكمية الآتية:

أولاً: أشكال الأشجار وأنواعها:

إن معرفة الأشجار وأنواعها من خلال الصور يتم من خلال استخدام مفتاح الأشكال الخاصة بذلك. حيث يمكن تمييز الأشجار الإبرية من الأشجار المخروطية في الصورة.

ثانياً: عدد الأشجار:

يمكن عدّ الأشجار مباشرة من الصور، ولكن يجب قبل كل شيء الانتباه إلى ما يمكن أن يحدث من تكرار في عدّ الأشجار التي جرى حصرها من قبل، ومن العوائق التي قد تؤثر في دقة التعداد: ظهور شجرتين على شكل شجرة واحدة، ووجود أشجار صغيرة متداخلة مع الأشجار الكبيرة.

ثالثاً: ارتفاع الأشجار عن طريق أطوال ظلالها:

لقياس ارتفاع الأشجار أهمية كبيرة في معرفة القدرة الإنتاجية لأنواع مختلفة من الأشجار، ثم تصنيف هذه القدرة لمختلف المناطق. ولكن قياس ارتفاع الأشجار ليس بالأمر السهل، وذلك بسبب صعوبة رؤية قمم الأشجار من الأرض. لذلك تستخدم الصور الجوية لعملية القياس هذه، ويمكن استخدام أزواج من الصور الجوية واستخدام جهاز الستيريوسكوب، وتتضمن هذه الطريقة معرفة زاوية ارتفاع الشمس حيث يمكن الحصول عليها من جداول حسابية فلكية، بالإضافة إلى معرفة مقياس الصورة. ثم بتطبيق العلاقة الآتية يمكن الحصول على طول الظل:

$$H = L.\ mF.\ tg\ hs$$

حيث:

H = طول الأشجار على الأرض.

L = طول الظل على الصورة.

mF = مقياس الصورة.

tg hs = ارتفاع الشمس أو زاوية سقوط الشمس (جيب الزاوية).

مثال:

بلغ طول ظل شجرة على الصورة 3.8 ملم، حيث إنّ مقياس هذه الصورة 7300 م، وزاوية ارتفاع الشمس (38)ْ.

بتطبيق العلاقة: 0.871 ×7300 × 0.0038 = 21.6 م.

كما يمكن قياس ارتفاع الأشجار بطريقة آلية عن طريق أجهزة متخصصة منها جهاز (Stereoscopic parallax).

رابعاً: القطر التاجي للأشجار:

في حين أن الشدّة اللونية لتيجان الأشجار تتغير بتغير الفصول وبتغير الإضاءة والموقع، فإن أشكال تيجان الأشجار وحجومها يتميز بالثبات نوعاً ما، وهذه الأمور كلها تتعلق بمقياس الصورة وبأنواع الأشجار وأعمارها وحالتها. تُعدّ الصور العمودية الكبيرة والمتوسطة المقياس مهمة جداً في دراسة أقطار تيجان الأشجار، وكلما كبر المقياس وضح قطر الشجرة وشكلها وحجمها. إن أبعاد أقطار التيجان في الصور الجوية تتعلق بنوع الشجرة بالدرجة الأولى. حيث نجد أن تيجان الأشجار الإبرية فيها أكبر وأكثر وضوحاً وتحديداً في الغالب من تيجان الأشجار النفضية التي تكون تيجانها غير منتظمة الحدود.

تُستخدم في الوقت الحاضر بعض الأجهزة الخاصة بقياس القطر التاجي للأشجار على الصور الجوية منها:

- مقياس قطر تاج الشجرة: وهو وسيلة بسيطة مطبوعة على ورقة شفافة من أجل قياس تيجان الأشجار بواحدات مقدارها 0.054 ملم بين خطين متباعدين على شكل إسفين ومدرجين. وتتوقف دقة القياس بوساطة هذا الجهاز على مقياس الصورة الجوية ونوعية الفيلم المستخدم ومهارة المفسر.

- مقياس تاج الشجرة: وهو وسيلة قياس بسيطة مطبوعة على مسطرة معينة شفافة، لقياس قطر تاج الشجرة، ولقياس أبعاد الأجسام الصغيرة الأخرى، كما يمكن أن تصمم على شكل إسفين دائري ميكرومتري أو على شكل نقاط صغيرة دائرية لها قياسات متدرجة.

لقد تمكن شبور Spurr من حساب قطر تاج الشجرة من العلاقة الآتية:

$$D = d.\frac{ho}{F}$$

حيث:

D: القطر التاجي للشجرة على الأرض.

d: القطر التاجي للشجرة في الصورة.

ho: ارتفاع الطائرة.

F: البعد المحرقي لآلة التصوير.

وهذه الطرق جميعها تُستخدم في الصور الجوية فقط أما الصور الفضائية فتُجرى عملية القياس عليها بشكل آلي.

خامساً: كثافة الأشجار:

يمكن قياس كثافة الأشجار بوساطة زوج من الصور الجوية أو من خلال الرؤية الستيريوسكوبية واستخدام مقياس كثافة التيجان الذي يتألف من سلسلة متدرجة من النقط ذات الكثافات المختلفة. كما يمكن معرفة الكثافة بوساطة الأقفال الحراجي التاجي، ويعني تقدير الكثافة الحراجية وتحديدها باستخدام الصور الجوية العمودية، والأقفال التاجي في الصورة هو النسبة المئوية للمساحة الأرضية المغطاة بتيجان الأشجار. كما تساعد معرفة مساحة المنطقة المغطاة بالغابات في حساب كثافة التيجان، والكثافة هنا تعني عدد الأشجار في كل هكتار.

$$D = \frac{N}{F} \times 100$$

حيث:

D: كثافة الأشجار.

N: عدد الأشجار.

F : المساحة المدروسة.

يوجد الآن صور فضائية تظهر البعد الثالث (الرؤية المجسمة) كما في صور القمر Spot الفرنسي وآلات التصوير الروسية TK350، وCartosat الهندي وغيرها.

سادساً: مساحة المنطقة المغطاة بالغابات:

يتم معرفة المساحة المغطاة بالغابات وتحديدها بسهولة من خلال الصور الجوية، وذلك من خلال تحديد المنطقة على الصورة ثم قياسها بإحدى الطرق الآتية:

- استخدام جهاز قياس المساحات: وتعتمد على تمرير هذا الجهاز على حدود المنطقة المراد دراستها باتجاه عقارب الساعة. فتظهر المساحة مباشرة على الجهاز.
- استخدام طريقة الأشرطة: وتعتمد على تغطية المنطقة المراد دراستها بخطوط متوازية على مسافات متساوية.

ولكن هاتين الطريقتين قديمتان ويمكن حساب المساحة الآن بطريقة آلية دون الحاجة إلى عملية القياس المباشر على الصور.

4.4.6- دراسة تطور الغطاء النباتي

إن دراسة الغطاء النباتي ومراقبة تطوره أصبحت من أهم المسائل التي يمكن دراستها بوساطة الصور الفضائية، ويتم ذلك من خلال الصور الملتقطة في فترات زمنية مختلفة لمنطقة واحدة، حيث تُستخدم صور متكررة للمنطقة نفسها كل أسبوع أو كل عشرة أيام وبقدرة إظهار جيدة. كما يمكن أخذ صور متكررة فصلية لمراقبة تغير الغطاء النباتي، وتمييز المناطق المغطاة بالنباتات، والمناطق الجرداء. يمكن في هذا النوع من

الدراسات استخدام أطياف متعددة أو طيف واحد في التصوير، ولكن لا بد من مراعاة الشروط الآتية:

- اختيار الفصل المناسب للتصوير.
- اختيار الوقت المناسب.
- الحصول على عدد من الصور للمنطقة، وضمن أطياف مختلفة وعلى فترات زمنية متباينة.

5.4.6- دراسة أمراض النباتات

يمكن دراسة الأمراض التي تصيب الغطاء النباتي بسهولة من خلال الصور الجوية والفضائية. حيث تظهر النباتات المصابة بلون يختلف عن لون النباتات السليمة وهذا يتعلق بالقدرة الانعكاسية للنبات. حيث نجد أن النباتات المصابة بالأمراض تكون أقل قدرة على امتصاص الأشعة من النباتات السليمة.

ويُستخدم تفسير الصور في كثير من حالات مسح الأضرار في أشجار الغابات وأشجار المدن بسبب إصابتها بالأمراض والحشرات، أو لأسباب أخرى. ولقد استُعمِلَت لتقدير الأضرار أنماط متنوعة من الأفلام والمقاييس. ورغم أن الصور البنكروماتية هي الأكثر استخداماً، إلا أن أنجح عمليات المسح هي التي استخدمت صوراً ملونة في المجال المرئي أو ملونة بالأشعة تحت الحمراء بمقياس متوسط أو كبير. كما كُشف عن بعض الأضرار التي أصابت الغابات الناجمة عن تلوث الهواء والحيوانات والحرائق والعواصف والصقيع والرطوبة وملوحة التربة وعدم التوازن الغذائي.

6.4.6- تطبيقات أخرى للاستشعار عن بعد في إدارة الغابات

إن تطبيقات تفسير صور الاستشعار عن بعد في مجال الغابات تمتد إلى أكثر من الأنشطة التي ذُكرت، فهناك تطبيقات أخرى نذكر منها تقويم أرض الغابة والتخطيط لجني

الأخشاب ومراقبة قطع الأشجار وإعادة التشجير والتخطيط لرش مجموعات الأشجار الغابية بالمبيدات أو بالأسمدة وتقدير ما ينجم عن ذلك، وتقدير نشاطات نباتات المشاتل الغابية وصحتها ورسم خرائط الوقود الغابي لتقدير إمكان انتشار الحريق وتخطيط طرق الغابات وجرد صلاحيتها الترفيهية وإحصاء حياة الوحيش فيها، وتحديد بيئاتها ومراقبة نمو النباتات ثانيةً في مسار مكافحة الحريق وتحت خطوط الطاقة الكهربائية.

إن نجاح التطبيقات المذكورة آنفاً جميعها يعتمد في الواقع على توفر المعطيات المرجعية العالية الجودة للمساعدة في عملية التفسير، بالإضافة إلى خبرة المفسر وتوفر التقانات الحديثة اللازمة للقيام بعمليات التفسير.

5.6- تطبيقات جيولوجية

إن استخدام معطيات الاستشعار عن بعد في الدراسات الجيولوجية والحصول على المعلومات الخاصة بتركيب الصخور وأنواعها وتطبقها وحركتها وتطورها، ثم تمثيلها في خرائط، جعل الدراسات الجيولوجية تتبوأ مكاناً متقدماً بين العلوم. وإن دخول الاستشعار عن بعد في هذه الدراسات ظهر من خلال الضرورات الآتية:

- البحث عن موارد وثروات باطنية جديدة.
- دراسة سطح الأرض وتركيبها الصخري.

وهنا يمكن القول إنّ العمليات الداخلية التي تحدث على السطح يمكن دراستها ومراقبتها من خلال الوسائط الفضائية المختلفة. كما تقدم الصور الفضائية معلومات عن الترب والصخور والتراكيب الصخرية وأشكال الأرض الناجمة عن العوامل التكتونية والديناميكية التي تحدث في باطن الأرض، كالفوالق والصدوع والتشققات والتكسرات وذلك لأن هذه الأشكال تنعكس على سطح الأرض إما بشكل مباشر، أو من خلال

قرائن أخرى كشبكة التصريف المائي حيث إنّ كل نوع من أنواع الصخور ترتبط به شبكة تصريف معينة، بالإضافة إلى اختلاف الشدّة اللونية.

1.5.6– المعلومات الجيولوجية التي تظهر على الصور الجوية والفضائية:

تقدّم الصور الفضائية والجوية معلومات عن أشكال المظاهر الجيولوجية وكيفية انتشارها، سواءً كان هذا الانتشار مساحياً أم خطياً، حيث تختلف الشدّة اللونية، أو يختلف اللون. ويمكن أحياناً التعرف على الظاهرة من خلال بنيتها أو حدودها أو من خلال الخصائص الهندسية لها، ثم يؤدي الموقع _أي الإحداثيات الجغرافية للظاهرة وكثافة اللون أو نوعه_ دوراً رئيساً في التعرف على الظاهرة الجيولوجية.

العوامل الرئيسة التي تؤثر في وضوح الظواهر الجيولوجية في الصورة:

- الظروف الميترولوجية التي تكون سائدة في أثناء التقاط الصورة
- تقانات استخراج الصور.
- عمليات انعكاس الأشعة.
- تحضير الصور للعمل.
- دقة التعرف على الظاهرة من خلال اللون والقتامة والأبعاد والقوام وغيرها من الخصائص المباشرة وغير المباشرة.

إنّ بنية الصخر تنعكس على الصور الفضائية ضمن مجالات طيفية محددة، وإن اختلاف قدرة الانعكاس تحدد الخصائص الطيفية للصخور بالإضافة إلى رطوبة التربة وعمق المياه وخصائص الماء والنبات. هنا نجد أن التصوير ضمن النظام المتعدد الأطياف MSS يقدم معلومات كثيرة عن الصخور المختلفة وذلك حسب أطوال الموجات المستخدمة في التصوير.

1.1.5.6- المعلومات المباشرة وغير المباشرة التي تظهر على الصور الجوية والفضائية:

أولاً: المعلومات المباشرة:

1. التوزع المكاني للصخور وترتيبها وهذا يمكن التعرف عليه من خلال درجة القتامة في الصور العادية (أبيض وأسود) وعن طريق اختلاف الألوان في الصور الملونة بالإضافة إلى حجم الظاهرة وشكل توزعها. كما يساعد موقعها أي إحداثياتها الجغرافية على التعرف عليها.
2. التعرف على أنواع التضاريس المرتبطة بأشكال معينة من الصخور "تحدبات، تقعرات، انحناءات وميول خفيفة أو شديدة". حيث إنّ كل شكل من هذه الأشكال يدل على نوع معين من الصخور، ومعرفة حدود انتشار هذا الصخر وبنيته.
3. معرفة الانعكاس الطيفي للعناصر الموجودة في الصور في المجالات الطيفية المختلفة كانعكاس الصخور والتربة والنبات والمياه.

ثانياً: المعلومات غير المباشرة:

من خلال العلاقات الموجودة بين العناصر الطبيعية (علاقة الصخور مع التربة والنبات والتضاريس وغيرها) يمكن استنتاج عدد كبير من المعلومات بشكل غير مباشر، منها:

1. المعلومات البنيوية: إن العلاقات المكانية بين الظواهر الجغرافية المختلفة تقدم معرفة غير مباشرة عن الصخور وتوزعها كعلاقة الصخور مع الشبكة المائية.
2. معرفة عوامل تشكل التضاريس: إن التعرف على عوامل تشكل التضاريس في منطقة ما يقدم معلومات كثيرة عن الحوادث التكتونية القديمة والحديثة كما أن ارتفاع أشكال سطح الأرض وانخفاضها والحركات الأفقية والعمودية التي يتعرض

لها سطح الأرض والانزلاقات الأرضية تُعدّ معلومات غير مباشرة يمكن الحصول عليها من خلال الصور الجوية والفضائية.

2.1.5.6- المظاهر الجيولوجية التي يمكن معرفتها من خلال الصور الجوية والفضائية:

يمكن تمييز ثلاثة أنواع من المظاهر الجيولوجية هي:

1- المظاهر الخطية.

2- المظاهر الدائرية الشكل (الحلقية).

3- المظاهر ذات الانتشار المساحي.

أولاً: المظاهر الخطية:

المظاهر الخطية التي يمكن ملاحظتها في الصور الجوية والفضائية تعني سائر الظواهر التي توجد في الصورة على شكل خط مستقيم أو منحنٍ أو متعرج أو منكسر، سواءً كانت هذه المظاهر طبيعية أم بشرية. وهذه الظواهر يمكن التعرف عليها من خلال شكلها، وتكون ناتجة إما عن حوادث خارجية المنشأ: انزلاقات، انجراف جليدي، حت، أشكال صرف مائي، وتتأثر بخصائص الصخر وشكل توضعه أو بنيته الداخلية. أو حوادث داخلية المنشأ: كالفوالق والصدوع والانكسارات والتشققات وحدود الطبقات الجيولوجية.

ويمكن تصنيف الصدوع حسب طولها إلى مجموعات:

أ- صدوع طويلة يزيد طولها على 1000 كم.

ب- صدوع بين 1000 و100 كم.

ت- صدوع بين 100 و10 كم.

ث- صدوع بين 10 و 1 كم.

ج- صدوع صغيرة طولها يتراوح بين 1 كم و10 م.

ويمكن تصنيف الفوالق والصدوع أيضاً حسب الموقع أو العمر أو غيرها. وإنّ الحدود بين الطبقات الجيولوجية ولا سيما في المناطق المناخية الرطبة لا يمكن رؤيتها بشكل مباشر وإنما بوساطة قرائن أخرى. أما في المناطق الخالية من النبات والجافة نوعاً ما فإن حدودها تكون واضحة بشكل جيد في الصورة، ويمكن تمييزها حسب درجة القتامة في الصور العادية أو اختلاف اللون في الصور الملونة وحسب النسيج اللوني أو التضاريس والتعرية وغيرها.

ثانياً: الأشكال الدائرية والحلقية:

تظهر الأشكال الدائرية على الصور الفضائية بشكل واضح وذلك من خلال شكلها أو من خلال شبكة التصريف المائي الناتجة عنها التي تأخذ الشكل الشعاعي. وهذه الأشكال إما أن تكون باطنية المنشأ كالبراكين أو خارجية المنشأ كالأشكال الدائرية الناتجة عن التحلل الكارستي، وتختلف مساحة هذه الأشكال من مكان لآخر وتتراوح مساحتها من 1 كم إلى 100 كم.

ثالثاَ: المظاهر الجيولوجية ذات الانتشار المساحي:

من المظاهر الجيولوجية التي تأخذ الشكل المساحي على الصور الفضائية أنواع الصخور والطبقات الجيولوجية. يمكن التعرف على أنواع الصخور من خلال الصور الفضائية – كما ذكرنا سابقاً – بشكل مباشر أو غير مباشر، ويمكن معرفة أنواع الصخور بشكل غير مباشر من خلال العلاقة بين نوع الصخر وشبكة التصريف المائي أو من خلال ارتباط الصخر مع النبات أو الصخر مع الترب.

أما تمييز أنواع الصخور في الصور الفضائية بشكل مباشر فيتم من خلال اللون الذي تظهر به في الصور الملونة أو من خلال درجة القتامة في الصور العادية وهذا لا يعني أنّ ألوان الصخور تساعدنا دائماً في التعرف على أنواعها وذلك لأن الكثير منها قد تعرض خلال الزمن لعوامل التعرية سواءً منها التعرية الفيزيائية أم الكيميائية بالإضافة إلى حوادث الترسيب والصدوع والشقوق التي غيرت معالم هذه الصخور وغيرها.

3.1.5.6- تمييز المجموعات الصخرية

يجب على مفسر الصورة الفضائية والجوية أن يملك المعرفة الكاملة والخبرة التي تمكنه من تصنيف الصخور التي تظهر في الصورة إما حسب المنشأ أو حسب التركيب. تصنف الصخور حسب المنشأ إلى ثلاث مجموعات هي:

1. الصخور الاندفاعية
2. الصخور الرسوبية
3. الصخور المتحولة

أولاً: كيفية انعكاس الصخور الاندفاعية (النارية) على الصور الجوية والفضائية:

تظهر الصخور الاندفاعية أو النارية على الصورة الفضائية والجوية على شكل جبال شديدة التضرس، وتتميز بمقاومتها الشديدة لعمليات التعرية، وهي غالباً ما تكون عارية من الغطاء النباتي أو تتميز بغطاء نباتي قليل وغطاء ترابي قليل السماكة، ومثال عليها الصبات البركانية في جنوب سورية.

تظهر **الصخور الغرانيتية** على الصور الفضائية بشكل كتلي ومستدير نسبياً ذات جوانب شديدة الانحدار، وتظهر فيها صدوع كثيرة، وتتميز بشبكة تصريف مائي شجرية ومتشابكة وتأخذ هذه الصخور ألواناً قاتمة.

أما الأراضي التي تغطيها البراكين أو ما يدعى الأراضي البركانية، وأحياناً تدعى مناطق الأغشية الاندفاعية، تحتل هذه مساحات واسعة، وتتميز بسطوح متموجة، وقليلة الانحدار وأحياناً تأخذ أشكالاً تلالية، وتتحزز هذه المناطق التي تتألف صخورها من البازلت في الوديان والمجاري المائية، وتتكون الخوانق والسفوح المنحدرة أحياناً.

يظهر **البازلت** في الصور الفضائية بألوان قاتمة عدا الريوليت الذي يأخذ لوناً أقل قتامة، أما الشبكة المائية فتكون غزيرة بسبب عدم نفاذية الصخور، قليلة التعرج بسبب القساوة التي تتصف بها الصخور، أما مناطق الصبات البركانية الحديثة فتتميز بندرة

الغطاء النباتي وغطاء ترابي قليل السماكة بشكل عام وشبكة تصريف مائي كثيفة أما البراكين الجبلية المخروطية سواء كانت جبالاً منفردة أم سلاسل مخروطية فتتميز بارتفاعها وبسفوح شديدة الانحدار وسطوحها مقعرة نحو الداخل، ويُستدل عليها إما من خلال شكلها المخروطي أو من خلال شبكة التصريف المائي، التي تأخذ شكلاً شعاعياً مركزه حافة المخروط، وتتدلى من الأعلى باتجاه الأسفل وتكون هذه الشبكة قليلة التعرج بسبب قساوة الصخور من جهة، وشدة الانحدار من جهة أخرى. كما يمكن التعرف على فوهات البراكين أو ما يدعى بالكاديرا من خلال الصور الفضائية، وهذا النوع من الفوهات البركانية يتميز بمساحات كبيرة وتظهر بشكل واضح على الصور الفضائية.

هناك قرائن أخرى يمكن ربطها بالصخور الاندفاعية حيث نجد أشكالاً واضحة مرافقة لهذه الصخور كالغطاء النباتي، وشبكة التصريف المائي، وشكل الأخاديد وغيرها.

ثانياً: كيفية انعكاس الصخور الرسوبية على الصور الجوية والفضائية:

تتعلق عملية انعكاس الصخور على الصورة بالدرجة الأولى بنوع الصخر وتركيبه فنجد مثلاً أن الصخور الكلسية تعكس كمية أكبر من الأشعة بالمقارنة مع الصخور الرملية.

تظهر **الصخور الرملية** بشكل واضح على الصور الفضائية، وتتميز بلونها الفاتح على الصور العادية (أبيض وأسود)، أما على الصور الملونة بألوان حقيقية فتظهر الصخور الرملية بألوانها الطبيعية، والتي تتدرج من اللون الأحمر حتى الأصفر والأبيض، وإذا كانت الصخور تتميز بلون أحمر فإنها تظهر على الصور العادية بلون قاتم حسب درجة الاحمرار. كما تملك الحبيبات الرملية تأثيراً في درجة القتامة، حيث نجد أن الصخور الرملية المكونة من حبيبات خشنة تظهر بلون أفتح من الصخور الرملية ذات الحبيبات الناعمة وفي الشروط نفسها التي توجد فيها الصورة نفسها. كما يمكن التعرف على الصخور الرملية من خلال شبكة التصريف المائي التي ترتبط بنوع الصخر حيث تتميز شبكة

التصريف في هذا النوع من الصخور بأنها قليلة أو معدومة وذلك بسبب نفاذية الصخور للمياه، كما أن شبكة التصريف تأخذ شكلاً متشابكاً.

في **الصخور الانتقالية بين الصخور الرملية والصخور الغضارية** لا يمكن تمييز شبكة تصريف مائية واضحة ولكن يمكن القول إنّ المناطق التي توجد فيها الصخور الرملية مع قليل من الغضار تكثر فيها الشبكة المائية.

تتميز **الصخور الغضارية (الطفل)** على الصور الجوية والفضائية بلونها القاتم نسبياً وتكون عارية من الغطاء النباتي في المناطق الجافة وتأخذ شبكة التصريف المائي فيها الشكل الشجري.

تتميز المناطق التي توجد فيها **الصخور الكلسية** بالشقوق والانكسارات، وتغلب عليها التجوية الكيميائية في المناطق التي تتوافر فيها الأمطار حيث تظهر الأشكال الكارستية المتنوعة الدولينات والجوبات. كما تتميز بالأشكال الكارستية الأخرى كالكهوف والمغاور وغيرها. وذلك نتيجة للتحلل الكارستي الذي يتعلق بكثرة الأمطار وقابلية الصخر للذوبان وكثافة الشقوق.

تتميز الصخور الكلسية بشبكة تصريف سطحية قليلة وذلك بسبب نفاذية الصخور، ومن ثمّ يكون الجريان باطنياً، ويمكن التعرف على الجوبات من خلال الزراعات المختلفة بسبب تربتها الخصبة. سابقاً كان من الصعب التعرف على الصخور الكلسية والدولوميتية مباشرة، ولكنه كان من الممكن الاعتماد على القرائن غير المباشرة التي تساعد في التعرف عليها، حيث نجد أن هذه الصخور تتميز بالأعراف الجبلية وبشبكة تصريف متشابكة. كما تتميز بوجود المجاري المائية في بطون الأودية وتلتقي الروافد مع المجاري الرئيسة بزوايا قائمة، أما في الوقت الراهن فقد أصبح من الممكن تمييزها بوضوح في الصور ذات قدرات التمييز الكبيرة (أمتار عدة)، وباستخدام القرائن الطيفية المطبقة على الصور المتعددة المجالات الطيفية.

ثالثاً: كيفية انعكاس الصخور المتحولة على الصور الجوية والفضائية:

يُعدّ إمكان تمييز هذا النوع من الصخور على الصور أمراً صعباً للغاية إلا أنّ نظام التصريف المائي لكل صخر متحول يتبع نظام التصريف للصخر الأم؛ فمثلاً نجده في صخر الغنايس يأخذ الشكل الشجري الذي يأخذه في الغرانيت. وهناك قرائن يمكن أن تساعد في التعرف على أنواع الصخور المتحولة.

2.5.6- كيفية استخدام بيانات الاستشعار عن بعد في الدراسات الجيولوجية

تُستخدم بيانات الاستشعار في:

1- وضع الخرائط الجيولوجية.
2- وضع الخرائط التكتونية.
3- وضع خرائط التكتونيك الحديث.
4- وضع خرائط الثروات المعدنية والنفطية.
5- وضع خرائط التنقيب عن المعادن والنفط.

وسيتم التحدث بالتفصيل عن وضع الخرائط في نهاية الفصل.

1.2.5.6- التنقيب عن المعادن

إن التنقيب عن الموارد المعدنية هو أحد الحوافز الأساسية لرسم الخرائط الجيولوجية. ونظراً لكون معظم الرواسب المعدنية السطحية منها أو القريبة من السطحية أصبح معروفاً في المناطق التي يسهل الوصول إليها، فقد اتجه الاهتمام الآن نحو تحديد مواقع الرواسب المعدنية العميقة البعيدة عن سطح الأرض أو المناطق التي يصعب الوصول إليها. ولا بد من أجل ذلك من الاستعانة بالطرائق الجيوفيزيائية، التي تخترق الأعماق لتحديد مواقع الرواسب المحتملة، وإجراء السبور للتوثق من وجودها. وهناك طرق مباشرة للتنقيب عن المعادن باستخدام المعطيات الفضائية والمعطيات الجيوكيميائية والحرارية حيث يمكن أن

يزودنا تفسير المعالم السطحية التي تظهر في الصور الجوية وصور الأقمار بالكثير من المعلومات حول الوجود المحتمل للمعادن.

تقوم أجهزة الاستشعار باستكشاف الخامات المعدنية والبترولية، حيث يستعان بالصور المعالجة في مجالات التعدين، وذلك بناءً على أن كل نوع من الصخور أو المعادن يمتلك درجة امتصاص خاصة به، وهناك محاولات لاستخدام الصور الفضائية في مجال النفط وهي محاولات بحثية، مع العلم أن الصور الفضائية تتعامل مع الظواهر السطحية بينما ترتكز صناعة النفط على التعامل مع الظواهر تحت السطحية.

ومن هنا نجد أن عملية التنقيب عن المعادن ضرورية ومهمة جداً في الدراسات الجيولوجية ومعظم الدراسات الجيولوجية تقوم بشكل أساسي عليها، ويتم التنقيب عن المعادن في كل تابع صنعي على حدة فلكل تابع صنعي طرق وأساليب ومعادلات خاصة في التنقيب عن المعادن.

2.2.5.6– استخدامات أخرى:

استخدم الجيولوجيون بيانات الاستشعار عن بعد منذ ظهور التكنولوجيا لرسم الخرائط الإقليمية والهيكلية والتفسير، والمساعدة في التنقيب عن الخامات والهيدروكربونات. وقام الجيولوجيون بتطوير نسبة المجال (النطاق)، كما قاموا بإجراء تجارب عديدة باستخدام خوارزميات ومتتاليات رياضية واستخدموا تقانات التحليل الانتقائي للمكون الرئيس لإنتاج أكسيد الحديد والهيدروكسيل التي يمكن أن تكون ذات صلة بالتغيرات الحرارية المائية أو غيرها.

وقد وجدت هذه المنتجات طريقها إلى صناعة التعدين وإلى حد أقل إلى قطاع النفط والغاز. مما سمح للباحثين في مجال الاستشعار عن بعد الجيولوجي سد الفجوة مع مجال علوم الأرض حيث إنّه منذ بدئه بالتصوير الجوي وصولاً إلى الصور عالية الطيفية مازال الاستشعار عن بعد يعطي بيانات ضخمة ومتعددة في المجالات جميعها.

يبين **الشكل (121)** مثالاً للتصوير بأشعة الشمس المائلة بزاوية صغيرة التُقطت في الشتاء حيث يظهر الغطاء الثلجي. ويبين هذا الشكل صورة من سكاي لاب (Skylab) لشمال غربي وايومينغ (Wyoming) وشرقي آيداهو (Idaho)، حيث تمثل المنطقة ذات الشدة اللونية الفاتحة في أعلى اليسار سهل نهر سنيك (Snake River) في آيداهو، وهي منطقة شاسعة مؤلفة من صبة بازلتية بركانية. أما المساحة ذات الشدة اللونية القاتمة أعلى الصورة المغطاة بالأشجار ويمينها فتمثل حديقة ييلُوستون (Yellowstone) الوطنية. ويشاهد أسفل الحديقة المذكورة ويسارها جبال غراند تيتون (Grand Teton) ومنخفض جاكسون (Jackson Hole). وتشاهد طبقات الصخور الرسوبية لسلسلة جبال وايومينغ وسلسلة سولت ريفر (Salt River) في التربيع اليساري الأسفل من الصورة وسلسلة جبال ويندريفر (Wind River) المغطاة بالجليد أسفل اليمين.

شكل (121) صورة جوية منخفضة الزاوية من سكاي لاب 4، شرق ايداهو وشمال غربي وايومينغ (تبدو فيها حدائق ييلوستون وغراند تيتون الوطنية) مقياس الصورة حوالي 1: 50000000

استخدمت بيانات الماسح الغرضي لقمر لاندسات على نطاق واسع من قبل الاستشعار عن بعد الجيولوجي لمجموعة واسعة من التطبيقات بما في ذلك الليثولوجية والهيكلية ومعرفة أماكن الرواسب البركانية ورصد البراكين ورسم الشعاب المرجانية وكشف زورق النفط الطبيعي وفي دراسة الانهيارات الأرضية، كما دُمجت بيانات الماسح الغرضي في لاندسات مع غيرها من البيانات الجيوفيزيائية وبيانات الجاذبية والمغناطيسية، واستُعين بتقانات معالجة الصور كالدمج والتحويل (مثل التحويل اللوني IHS)، وقد أثبتت إحدى أحدث الدراسات عن خصائص البحيرات الفيزيائية أن لاستخدام التحليل المتعدد الزوايا صور لاندسات (TM7/ TM5) فائدة كبيرة في مجال التعدين وكذلك الأمر بالنسبة للبيانات الفضائية لنظام رصد الكيمياء الأرضية لهذه البحيرات.

وذلك بالإضافة إلى الوفرة الكبيرة من البحوث العلمية حول استخدام بيانات ASTER في مختلف التطبيقات الجيولوجية، فهناك أبحاث عدة عن الغرانيت وتسلسل الأفيوليت، والصخور العميقة. وعلى الرغم من أن آستر يستخدم على نطاق واسع من قبل صناعة النفط والغاز، إلا أنه يوجد بحوث علمية عدة تفيد عدم انطباقه. كما أن معظم الأبحاث تركز على استخدام بيانات آستر للتنقيب عن المعادن بالتشارك مع بيانات الطاقة الحرارية الأرضية والطاقة الحرارية المائية وتمعدن الباريوم وتبخر الأنظمة.

وكثيراً ما تستخدم بيانات الاستشعار عن بعد فائقة الطيفية بدراسة مخلفات الألغام، بالإضافة إلى وجود عدد قليل من المحاولات لربط بيانات الاستشعار عن بعد فائقة الطيفية بصناعة النفط والغاز، حيث إنّ معظم هذه المحاولات تتعلق بدراسة الكشف عن النفط المتسرب والكشف عن انطلاق الغاز وتوصيف ذلك من خلال رسم الخرائط المعدنية السطحية، ورسم خرائط لرمال النفط وتقدير إجمالي محتوى البيتومين من هذه الرمال، وتُعدّ بيانات AVIRIS وHYMAP فائقة القدرة الطيفية هي الأكثر استخداماً في معظم هذه الدراسات.

وقد أصبحت شركات النفط العالمية تعتمد بشكل شبه رئيس على استقراء الصور لتحديد مواقع التنقيب عن النفط والغاز، بعد أن كانت تعتمد على التصوير الجوي التقليدي الذي يستنفذ كثيراً من الوقت والتكاليف، فبينما تستطيع هذه الشركات اليوم استخدام صورة فضائية تغطي مساحة 34 ألف كم^2 على الأرض فإنها تحتاج إلى 1600 صورة جوية لتغطية المساحة نفسها، وبتكاليف باهظة وبدقة متواضعة، رغم المقياس الكبير لهذه الصور.

وهناك تطور مثير للاهتمام من التكنولوجيا الفائقة الطيفية وهو تصوير الحفر الأساسية وتصوير الصخور الجدارية. وهناك في الوقت الحاضر العديد من الحفر التي تتوفر لها بيانات فائقة الطيفية، وعلى الرغم من أن هذه الصور توفر سهولة أكثر في حال استُخدمت من قبل صناعة التعدين لتحديد الصفوف المعدنية وفصل الخامات عن النفايات، إلا أنّ المنشورات العلمية التي تدرس هذه التقنية قليلة نوعاً ما.

ونظراً لتطور هذه التقنية وتطبيقها في مجالات جيولوجية واسعة على الأرض تجدر الإشارة إلى أن البيانات فائقة الطيفية أدت إلى اختراقات علمية في رسم الخرائط وفهم تكوين السطح في جيولوجيا الكواكب. ففي السنوات الأخيرة، صدرت العديد من الدراسات التي تستخدم بيانات CRISM و OMEGA لتسليط ضوء جديد على جيولوجيا المريخ.

6.6 – تطبيقات هيدرولوجية

إن لمعطيات الاستشعار عن بعد دوراً كبيراً في دراسة المياه ومراقبتها من خلال قياس التباينات الطيفية والحرارية في الأشعة الطيفية المنعكسة عن السطوح المائية، فمن الممكن مثلاً رصد تراكيز المكونات الصلبة العالقة بالماء وتحديد مدى تلوثه، وهو أمر

شديد الأهمية في إدارة الموارد المائية، بالإضافة إلى إمكانية رصد أماكن تواجد المياه، والمساعدة في منع حدوث الكوارث المتصلة بالمياه كالفيضانات والجفاف.

1.6.6– تطبيقات الاستشعار عن بعد في دراسة الأنهار:

هنالك فوائد عديدة لتقانات الاستشعار عن بعد في مجال دراسة الأنهار والتي تتمثل بوضع الخرائط للأنهار وتلوثها وتحديد مناطق الفيضانات. حيث تُعدّ بيانات الاستشعار عن بعد أسرع الوسائل للتوصل إلى تقدير الضرر الإقليمي للظواهر الطبيعية والحضارية لسطح الأرض بعد كارثة معينة والتي يمكن في الغالب استعمالها لمراقبة تطور الخطر منذ بدايته كما هو الحال على سبيل المثال في حالة الفيضان. فالمخاطر التي تسبب الكوارث مثل فيضانات الأنهار تنتج مشاكل خاصة وذلك بسبب تعذر جمع البيانات.

لكن المراقبة المتسلسلة والقابلية الشمولية التي توفرها بيانات الأقمار الاصطناعية يمكن أن تمكننا من تحديد الأضرار والمخاطر التي تهدد حياة الإنسان وبذلك تساعدنا على وضع خطط وقائية مبكرة تحسباً لمثل هذه الكوارث، ومن ثمّ فإن تطبيقات تقنية الاستشعار عن بعد في دراسة الأنهار تتمثل بما يلي:

أولاً: وضع خرائط دقيقة للمسيلات المائية:

ذلك من خلال تتبع أنماط وأشكال مناطق تصريف المياه كالأودية والأنهار والقنوات التي تظهر بشكل واضح في الصور الجوية والصور الفضائية الملتقطة بوساطة المستشعرات المختلفة المحمولة على متن الأقمار الاصطناعية ورسمها.

ثانياً: تتبع مسارات الأنهار ومراقبتها من حيث طول المجرى وعرضه وعمقه:

حيث يمكن من خلال الصور الجوية والفضائية تحديد عرض المجرى النهري، بالإضافة إلى استخدام عناصر مساعدة لمعرفة هذا العرض كالغطاء النباتي الطبيعي والزراعي، والسدود الجانبية الترابية أو الحجرية أو الإسمنتية التي تُعدّ مؤشرات على اتساع المجرى. أما عمق المياه فيمكن التعرف عليه من خلال الصور الملونة حيث يتغير اللون في

الصورة حسب تغير العمق كما ويمكن التعرف على خشونة سطحه ودرجة ترسب الطمي فيه ونحت ضفافه وتآكلها.

ثالثاً: دراسة تلوث الأنهار والكشف عن البقع الزيتية:

حيث يبدو الماء الملوث في التصوير الجوي داكن اللون (أسود)، أما البقع الزيتية فتبدو فاتحة اللون (رمادي)، أما المخلفات الحمضية فتتميز بمحتواها العالي من الأوكسجين المذاب ومن ثمّ يتطلب اكتشافها إجراء عددٍ من التحليلات المعقدة.

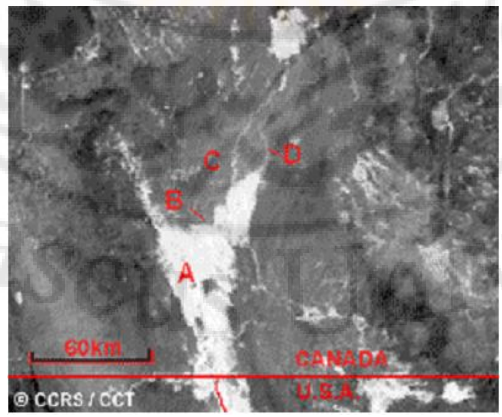
رابعاً: تحديد مناطق الفيضانات ومدى الدمار الذي تخلفه:

عند حدوث الفيضان في منطقة ما، يمكن بوساطة الأقمار الصناعية دراسة هذه المنطقة، وحدودها بالإضافة إلى تحديد المناطق التي يهددها خطر الفيضانات، وتحديد ما يمكن أن تسببه الفيضانات من أخطار على الأراضي الزراعية. وما قد تشكله من أخطار على الإنسان في المناطق المأهولة، وكذلك على طرق المواصلات، ومشاريع الري. وغيرها من النشاطات البشرية والاقتصادية.

أما بالنسبة للمجالات الطيفية المناسبة لدراسة الفيضانات فيُعدّ المجال تحت الأحمر الحراري مجالاً مناسباً لتحديد خط الفيضان وذلك لأن الأشعة تحت الحمراء يمكن استخدامها وسط الظروف الجوية المختلفة حيث يمكنها اختراق الضباب والغيوم في الليل والنهار كما ويستخدم أيضاً الرادار ذو الفتحة الجانبية، لأنه أيضاً يعمل في مختلف الظروف الجوية.

حيث يمكن من خلال الصور الرادارية الملتقطة في فترات زمنية متعاقبة، دراسة سير الفيضان والمساحات التي يغطيها وأعماق الماء فيها حتى في المناطق ذات الغابات الكثيفة. كما أن دمج بيانات الاستشعار عن بعد مع تقانات نظم المعلومات الجغرافية، تتيح لنا الحساب والتقدير السريع لمستوى المياه والضرر والمناطق التي يمكن أن تواجه فيضاناً محتملاً.

وقد رُصد الفيضان الذي حدث عام 1997 في كندا، والذي غمر حقول مرج وبلدات في ولاية مينيسوتا، داكوتا الشمالية، والمحافظة الكندية لمانيتوبا. في شهر أيار، حيث التقط كلٍ من NOAA-AVHRR وRADARSAT، صوراً لمقياس الفيضان ومداه، أما مشعرات AVHRR المحمولة على متن القمر الصناعي NOAA فقد زوّدت بصور ذات نطاق ضيق لكامل منطقة الفيضان من بحيرات مانيتوبا ووينيبغ الجنوبية إلى داكوتا الشمالية – حدود داكوتا الجنوبية. وقد كانت الصور الملتقطة في الليل في المجال تحت الأحمر الحراري من أفضل الصور التي التقطت حينها، حيث تظهر الأرض الأبرد بلون غامق والماء الأدفأ (A) يظهر باللون الأبيض في **الشكل (122)**. أما الخنادق الصناعية، مثل الخندق (B) الذي أُنشئ بسرعة بهدف منع تدفق الماء إلى جنوبي وينيبيغ. وكما نرى، فإن الخنادق تأخذ على الصورة الفضائية شكل حدود مستقيمة منتظمة جداً تفصل بين اليابسة ومياه الفيضان. وعلى الرغم من أن المدينة وينيبيغ (C) غير محددة بشكل واضح فإن طريق الفيضان ظهر بوضوح عند امتلائه بالماء وقد اتجه إلى الشرق موازياً للنهر الأحمر في النهاية الشمالية الشرقية لمياه الفيضان. وقد صُمم طريق الفيضان لتحويل الزيادة في تدفق الماء من النهر الأحمر خارج حدود المدينة. إلا أنه وبسبب حجم المياه الكبير على الخندق انتشرت المياه عبر المرج.



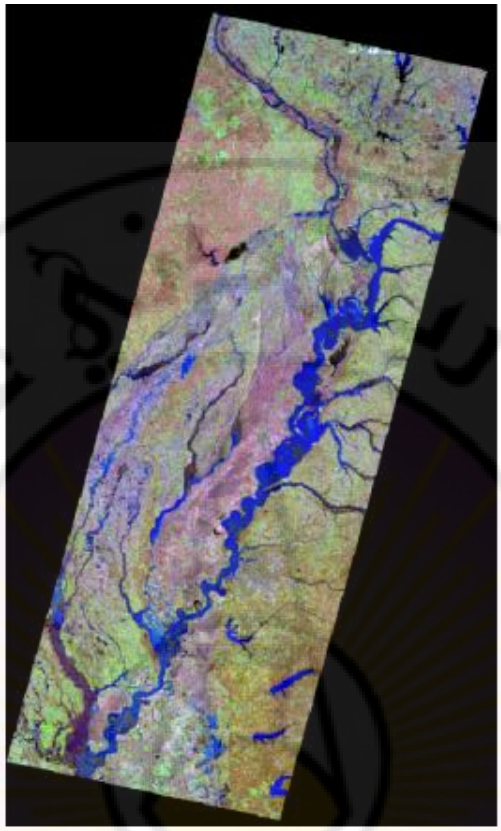
شكل (122): صورة لفيضان كندا عام 1997 في المجال تحت الأحمر الحراري

كما أنّ القمر رادارسات كان قد التقط صوراً ممتازة للفيضان، بسبب قدرته على التصوير في الظلام وفي ظل الأحوال الجوية الغائمة، وحساسيته وقدرة تمييزه الماء من اليابسة، (انظر **الشكل 123**).

شكل (123): صورة لمياه فيضان كندا تحيط بلدة موريس

في هذه الصورة ماء الفيضان (A) يحيط بلدة موريس بالكامل (B)، والتي تظهر كرقعة لامعة ضمن ماء الفيضان المظلم. تبدو المناطق التي تعرضت للفيضان مظلمة على الصورة الرادارية لأن الطاقة الميكروية الساقطة صغيرة جداً وقد وجهت إلى سطح الماء الناعم ثم عادت إلى المستشعر. طرق النقل ما تزال ظاهرة والسكة الحديدية يمكن أن ترى وسط الماء فقط فوق المنطقة (C)، تتجه إلى المنطقة الجنوبية الغربية – الشمالية الشرقية. أما الأرض الزراعية غير المتأثرة نسبياً بالفيضان (D) فقد كانت مختلفة في انعكاساتها، وهذه الاختلافات تعود للاختلافات في رطوبة التربة ومدى خشونتها بالنسبة لكل حقل.

كما التقط القمر لاندسات صوراً للفيضان الذي أصاب نهر المسيسيبي في آذار عام 1997 م، **والشكل (124)** هو موزاييك لثلاث صور التقطت لهذا الفيضان.



شكل (124): موزاييك لثلاث صور ملتقطة بالقمر الصناعي لاندسات لفيضان المسيسيبي 1997م

خامساً: تحديد جهات الجريان السطحي ودراسة كثافة التصريف لمناطق الأودية:

يتم ذلك من خلال استخدام نماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) حيث يكون الجريان بشكل طبيعي من المناطق المرتفعة باتجاه المنخفضات، وبذلك يمكن للبرمجيات الحديثة استخلاص جهة الجريان السطحي في المجاري المائية.

سادساً: تحديد حدود الحوض المائي وإعداد خرائط لأحواض التصريف:

يتم ذلك من خلال نمذجة الحدود الفاصلة بين الأحواض، حيث يمكننا باستخدام نماذج الارتفاعات الرقمية المنتجة والتي تشكل تمثيلاً ومحاكاة رقمية لتضاريس سطح الأرض استخلاصُ المعلومات الطبوغرافية ومن ثمّ تحديد حدود الأحواض المائية وشبكات مجاري الأودية.

سابعاً: تحديد المواقع الأنسب لإقامة السدود:

حيث يواجه مصممو السدود في المناطق الجافة العديد من الصعوبات خصوصاً فيما يتعلق بجمع المعلومات الهيدرولوجية، تتصف هذه المناطق بقلة المعلومات أو صعوبة الحصول عليها، ومن أهم المعلومات الضرورية للتخطيط لإقامة السدود هي المعلومات المتعلقة بتقدير كميات الأمطار والسيول، فتقنية الاستشعار عن بعد ساعدت في الحصول على المعلومات المطلوبة بدقة أكبر وفي وقت قصير نسبياً وبشكل آلي.

2.6.6- تمييز الأنهار دائمة الجريان من الموسمية على الصور الفضائية والجوية:

من المعلوم أن معظم الإشعاع الساقط على المياه تمتصه المياه أو تنفذه، وقليل منه تعكسه. فالمياه تمتص معظم إشعاع الموجات تحت الحمراء، مما يجعل التباين بينه وبين مواد السطح الأخرى كبيراً جداً في الصور المأخوذة في نطاق إشعاع الموجات تحت الحمراء القريبة، أما الإشعاع في الموجات المرئية فمعظمه ينفذ خلال الماء وينعكس حوالي 5% منه، ومن ثمّ تظهر كل من الأنهار دائمة الجريان والموسمية، على الصور الجوية والفضائية بشكل واضح، حيث تأخذ أشكالاً خطية متفاوتة القتامة وذلك تبعاً لعمق المجرى من جهة ولكمية الرواسب التي تحملها المياه من جهة أخرى، كما ويمكن تمييز المجاري المائية من خلال الزراعات الكثيفة التي تظهر على جوانب الأنهار. ويتم تمييز الأنهار دائمة الجريان من الموسمية كما يلي:

أولاً: الأنهار دائمة الجريان:

تتميز الأنهار دائمة الجريان بلونها القاتم جداً ولا سيما في المناطق الجافة في الصور البنكروماتية، أما في الصور الملونة فتتغير ألوانها تبعاً لما تحتويه من غرويات ومواد معلقة بالإضافة إلى ألوان الصورة _ ألوان طبيعية أو ألوان كاذبة_. أما في المناطق الرطبة فتظهر الأنهار دائمة الجريان بلون قاتم أيضاً، وإذا كانت المجاري النهرية ضيقة وتغطيها الغابات الكثيفة عندها فلا بُدّ من استخدام التصوير الحراري أو الراداري لدراسة هذه المجاري.

ثانياً: الأنهار الموسمية:

تتميز الأنهار الموسمية في المناطق الرطبة بظهورها على شكل خطوط بلون قاتم حيث يساعدنا الغطاء النباتي على دراستها، أما في المناطق الجافة فيمكن تمييزها بشكل أفضل حيث يكون هنالك تباين كبير بقتامتها وقتامة ما يجاورها من اليابسة.

3.6.6- دور الاستشعار عن بعد في دراسة المياه الجوفية

أولاً: اكتشاف المياه الجوفية:

إنّ استخدام الاستشعار عن بعد في اكتشاف المياه الجوفية مازال قليل التطبيق، حيث يتجلى دوره من خلال تحليل آثار الفوالق والتصدعات الجيولوجية، كما ويمكن التعرف على هذه الظواهر من خلال دراسة الظواهر والسمات الخطية Linear features في الصور الجوية والفضائية، وكذلك الكشف عن وجود المياه الجوفية في الصخور النارية والمتحولة بالاعتماد على تواجد الشقوق والفواصل والقواطع الرأسية والصدوع، كما ويمكننا استكشاف شبكات التصريف والجريان تحت السطحية وذلك باستخدام التصوير الراداري، ولا سيما في المناطق الجافة وشبه الجافة ذات الترب الرملية، كما ويمكننا أيضاً من خلال اكتشاف أنهار قديمة معرفة ما إذا كان هنالك جزء من مياه هذه الأنهار مازال موجوداً على شكل مياه جوفية، وكذلك تحديد أماكن التلوث في المياه الجوفية، وتقدير ملوحة المياه الجوفية الضحلة من خلال السبخات الملحية الظاهرة على سطح الأرض.

ثانياً: الأشعة المستخدمة في دراسة المياه الجوفية والتحسينات المناسبة:

يمكن استخدام الأشعة الميكروية للحصول على المعلومات تحت السطحية لتحديد مجاري المياه القديمة من أجل تحديد مواقع حفر الآبار ولا سيما في المناطق الصحراوية، كما ويمكن استخدام الصور الرادارية في هذه المناطق للبحث عن المياه الجوفية، أما في

الأراضي الرخوة، فمن الممكن استخدام الرادار النقطي في الكشف عن المياه مباشرة على عمق حتى 100م.

ويستخدم ترشيح تحسين الحواف Edge Enhancement Filter في الكشف عن المياه الجوفية وذلك لتمييز الشقوق والفواصل الرأسية والفوالق، وهو ترشيح عالي التردد High Pass Filter يقوم بإبراز المعالم الخطية، وذلك من خلال زيادة التباين في التدرجات اللونية بين البيكسلات المتجاورة في الصورة.

4.6.6- دراسة الغطاء الثلجي باستخدام الاستشعار عن بعد:

تُعدّ دراسة الغطاء الثلجي وامتداده وسماكته من أهم الدراسات الهيدرولوجية، وذلك نظراً لدوره الأساسي في رفع منسوب المياه السطحية والجوفية، لذلك يُرصد الغطاء الثلجي وتطوره بشكل مستمر من خلال الصور الفضائية الملتقطة وخلال فترات زمنية مختلفة، ووضع الخرائط لمناطق امتداد الثلج.

أولاً: كيفية التعرف على الغطاء الثلجي في الصور الفضائية:

يمكننا التعرف على الثلوج بسهولة في الصور الجوية والفضائية حيث إنّ كمية الحرارة المنبعثة تتناسب مع شدة الإشعاعات ودرجة الحرارة المطلقة، وكلما كانت هذه الثلوج أقدم قلت درجة الحرارة المنبعثة منها نظراً لكون هذه الثلوج أكثر برودة، فالخواص الانعكاسية للغطاء الثلجي تُعدّ عاملاً أساسياً مساعداً في تمييز الثلوج وتحديد خصائصها حيث تتأثر هذه الخواص الانعكاسية بعوامل عدة أهمها:

1- سماكة الغطاء الثلجي (تزداد درجة الانعكاس كلما كان الثلج أسمك).

2 - درجة تبلور الثلج.

3- محتوى الثلج من الملوثات (تزداد درجة الانعكاس كلما كان الثلج أنقى).

4 - كمية الأشعة الشمسية الواردة على سطح الغطاء الثلجي في أثناء التقاط الصورة.

فالغطاء الثلجي ينعكس على الصور الفضائية بلون فاتح ويتدرج من الأبيض الناصع وصولاً إلى الرمادي، وذلك حسب طبيعة الثلج. ويكون انعكاسه في مناطق الغابات الإبرية أقل وضوحاً مما هو عليه في الغابات الورقية، وإذا كان الغطاء الثلجي قليل السماكة فإنه ينعكس على الصور الفضائية بشكل مماثل لبعض مظاهر سطح الأرض الأخرى، كالتربة الصحراوية أو الملحية، لذلك يصعب تمييزه من هذه الظواهر، وفي مثل هذه الحالات يحتاج المفسر إلى معرفة جغرافية وخبرة عملية في هذا المجال.

ثانياً: المستشعرات المستخدمة في دراسة الغطاء الثلجي:

تستخدم في دراسة الغطاء الثلجي البيانات التي تقدمها الأقمار الصناعية الخاصة بالموارد الطبيعية مثل Landsat، SPOT وغيرها، أو الأقمار الصناعية الخاصة بالدراسات الميترولوجية التي تستخدم المواسح الحرارية وهي GOES، NOAA، TIROS[15]، Nimbus[16]، METEOSAT. كما ويستخدم الآن الرادار ذو الفتحة الجانبية (SLAR).

ثالثاً: المجالات الطيفية المستخدمة في دراسة الغطاء الثلجي:

تُستخدم مجالات طيفية عدة في دراسة الغطاء الثلجي، حيث تستخدم الأشعة تحت الحمراء القريبة في تحديد عمر الثلوج وكثافتها من أجل تحديد التخزين المائي أما الأشعة تحت الحمراء المتوسطة فتستخدم لتمكننا من تمييز الثلوج من الغيوم، كما يستخدم المجال المرئي لتحديد ما إذا كان الغطاء الثلجي قديماً أو حديثاً وتحديد درجة نقائه وتبلوره، وذلك من خلال قياس درجة الانعكاس حيث تزداد كلما كان الثلج نقياً وحديثاً وتنقص مع قِدمه وزيادة محتواه من الشوائب (انظر **الجدول 25**).

[15] TIROS يعمل في المجالين تحت الأحمر وتحت الأحمر الحراري بقدرة تمييز مكانية 1كم ودقة زمنية 12 ساعة.

[16] Nimbus أقمار مخصصة للدراسات المناخية، تحمل أجهزة استشعار راديومترية ورادارا ميكروياً، وماسحاً متعدد الأطياف.

جدول (25): نسبة الانعكاس المئوي للغطاء الثلجي

الغطاء الثلجي	نسبة الانعكاس المئوي
ثلج نقي جاف حديث	%90
ثلج نقي في بداية الذوبان	%85
ثلج نقي في حالة الذوبان	%75
ثلج قديم نقي	%70
ثلج قديم رطب ونقي	%65
ثلج قديم قليل التلوث جاف	%55
ثلج قديم قليل التلوث رطب	%50
ثلج قديم ملوث ورطب	%45

المصدر: صفية عيد، 2001

7.6– تطبيقات غطاءات الأراضي واستعمالاتها

يظهر التكامل بين الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية بشكل واضح في دراسة استعمالات الأراضي، فمعطيات الاستشعار عن بعد تعطي معلومات واضحة ودقيقة عن استعمال الأرض بعد تحليلها وتفسير مكوناتها. وهذه المعلومات تصبح بدورها مدخلات لنظم المعلومات الجغرافية وقاعدة معطيات يتم معالجتها وتحليلها واستخراج النتائج منها.

1.7.6– النظم البيئية واستعمالات الأراضي:

– مفاهيم ومصطلحات:

1– اللاندسكيب Landscape أو اللاندشافت Landschaft: هو مصطلح ليس عربياً، ويقابله في اللغة العربية مصطلح "هيئة الأرض"، وينقسم اللاندسكيب إلى

طبيعي وبشري، واللاندسكيب الطبيعي يعني البيئة الطبيعية (التضاريس، والمناخ، والتربة، والغطاء الحيوي...)، أما اللاندسكيب البشري فيتضمن مظاهر الحضارة التي أوجدها الإنسان على الأرض كلها، ويقترب هذا كثيراً من مصطلح استعمالات الأراضي، أما اللاندسكيب فقط بدون وصف يعني الصورة الطبيعية والبشرية للأرض.

2- النظام البيئي، الإيكولوجي Ecosystem: يتكون النظام الإيكولوجي من مجموعة الأحياء (نبات وحيوان وإنسان) بالإضافة إلى البيئة الطبيعية التي نعيش في ظلها، وبما أن هذا يُعدّ نظاماً فإنه يتضمن علاقات ديناميكية بين الأحياء وبيئتها، ويُعدّ التفاعل بين عناصر النظام البيئي وعوامله أحد خصائصه الأساسية، ويهتم التحليل الإيكولوجي في الجغرافية بدراسة العلاقات المتبادلة بين المتغيرات البشرية والبيئة الطبيعية، والإنسان بإساءة استخدامه للأرض يخل بالتوازن البيئي.

3- غطاء الأرض Land cover: مصطلح Land cover يشير إلى غطاء الأرض مثل الغطاء النباتي والصخري والمباني والمنشآت... (ظاهرات طبيعية وبشرية)، أي أن هذا المصطلح يشير إلى الشكل Form وليس إلى الوظيفة Function أي الشكل الذي تبدو فيه قطعة الأرض دون وظيفة هذا الشكل، على سبيل المثال أراضي الحشائش Grass land هي شكل بمعنى أنها قطعة من الأرض تتجانس في إحدى خصائصها وهو الغطاء النباتي، أما الوظيفة التي تؤديها هذه الحشائش فهي تستخدم للرعي Grazing.

4- استعمالات الأراضي Land use: هي العمليات التي يطبقها الإنسان على الأرض والنظام البيئي للحصول على فوائد حياتية بغض النظر عما تسببه هذه العمليات من تغيير أو إخلال في توازن هذا النظام، ولا يقتصر هذا المفهوم على الاستعمالات الزراعية وإنما يتعداها ليشمل الوسائل والأساليب والطرق التي تضع الأرض قيد الاستعمال الخاص أو العام جميعها.

وتدعو الحاجة إلى الحصول على بيانات استعمالات الأراضي ومعلوماتها لتحليل العمليات الزراعية والعمرانية والمشاكل البيئية، ودراستها بغية تحسين الظروف المعيشية للإنسان، لذلك فإن معلومات استعمالات الأراضي ضرورية للمخططين والمشرعين ومتخذي القرار لوضع سياسات استعمال أفضل وخطط استثمارية تخدم الاقتصاد والتنمية.

ولا بُدّ من الإشارة إلى أن استعمالات الأراضي تتبدل وتتغير مع مرور الوقت، نتيجة عوامل كثيرة مثل انتقال الملكية والتطور الاجتماعي والرغبات الخاصة والحاجة العامة والضغط السكاني.

لذلك لا بُدّ من تحديث دراسات استعمالات الأراضي وخرائطها بين الحين والآخر مما يحتم مع هبوب رياح ثورة المعلوماتية إنشاء بنك معلومات لاستعمالات الأراضي، وهذا يساعد على عرض مختلف التبدلات والتغيرات التي تطرأ على استعمالات الأراضي وتحديدها ومراقبتها ومقارنتها، واختيار الحلول المثلى لمشاكل الأراضي، بوضع خرائط استعمالات الأراضي المقترحة التي تؤمن حاجة الإنسان وتحافظ على البيئة ودراساتها.

2.7.6– تصنيف استعمالات الأراضي:

يغطي وجه الأرض موزاييك شديد التنوع من الاستعمالات المختلفة، لذلك فمن الضروري دراسة أنماط الاستعمالات المختلفة للأرض، وتحليل خصائص كل منها، ونظم إدارتها، ومدى تكيفها مع الظروف الطبيعية والأحوال الاجتماعية والاقتصادية والمستويات التقنية، وتغيراتها الزمنية والمكانية المستمرة بفعل العوامل الداخلية والخارجية، مع العمل على ترشيد نموها لتجنب العشوائية، ولمنع تدهور البيئة، ومع رسم خرائط استعمالات الأراضي التي تساعد في هذا الخصوص، ووضع استراتيجية عامة شاملة طويلة الأمد لاستخدام الموارد الأرضية بطريقة صحيحة مناسبة في أنحاء الدولة كلها ولصالح

الشعب، ويلزم لذلك تجميع بيانات المعلومات والخرائط اللازمة عن استعمالات الأراضي كلها سواءً بالوسائل التقليدية كالمسح الميداني للأراضي أم بالتقانات الحديثة مثل التصوير الجوي والتصوير الفضائي مع الاستعانة بالتقانات الحديثة للاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.

يتم في الوقت الحاضر الربط بين البيانات الرقمية التي توفرها الأقمار الصناعية عن استعمالات الأراضي وغطائها من جهة ونظم المعلومات الجغرافية وبرامج المعالجة الرقمية من جهة أخرى، وعندما يتحقق هذا الربط بكفاءة عالية ترتفع درجة الاستفادة من هذه البيانات، وتُخزّن في برامج نظم المعلومات الجغرافية، وتحليلها، وتمثيلها كارتوغرافياً، واسترجاعها، وتحديثها وذلك بإضافة المستجدات إليها.

وتصنيف استعمالات الأراضي وغطائها والخرائط الموضحة لذلك تتم على ثلاثة مستويات هرمية هي: المستوى الأول وهو العام، ثم المستوى الثاني، وهو المتوسط، والمستوى الثالث وهو التفصيلي، وأحياناً يوجد لاستعمالات الأراضي أربعة أو خمسة مستويات يزداد تفصيل الدراسة فيها من المستوى الأول إلى المستوى الأخير، فمثلاً تصنيف استعمالات الأراضي وفق أربعة مستويات يتم حسب ما يلي:

1- **المستوى الأول:** يشمل الدراسات الاستكشافية لاستعمالات الأراضي مثل الاستعمالات العمرانية، والاستعمالات الزراعية وغير ذلك.

2- **المستوى الثاني:** يشمل الدراسات العامة، فالاستعمالات الزراعية مثلاً يمكن أن تقسم إلى عدة فئات مثل زراعات كثيفة، زراعات غير كثيفة أو محاصيل، أشجار مثمرة وغير ذلك.

3- **المستوى الثالث:** يشمل الدراسات التفصيلية، حيث تقسم الاستعمالات المحددة في المستوى الثاني إلى استعمالات أكثر تفصيلاً، فالغابات مثلاً يمكن أن تقسم إلى غابات دائمة الخضرة أو غابات متساقطة الأوراق أو غابات مختلطة.

4- **المستوى الرابع:** وهو المستوى الأكثر تفصيلاً، حيث يتم تصنيف الاستعمالات المحددة في المستوى الثالث إلى استعمالات أخرى عديدة، فالغابات دائمة الخضرة مثلاً تقسم إلى غابات صنوبر أو غابات شوح وغير ذلك.

3.6.7- نظم تصنيف استعمالات الأراضي:

هناك بعض التجارب لبعض الدول في هذا المجال كإنجلترا، والولايات المتحدة، وروسيا، والدانمارك، وأستراليا، وبولندة، ونيوزيلندة، يمكن الاستفادة منها، إضافة إلى ذلك وضع الاتحاد الجغرافي الدولي تصنيفاً لاستعمالات الأراضي وغطائها، وهو تصنيف مرن يمكن تعديله حسب ظروف كل دولة، شرط ألا تخل بأسسه العامة، وفيما يلي عرض لأهم هذه التصانيف:

1- نظام تصنيف استعمالات الأراضي الأمريكي: ويتألف هذا النظام من الفئات الآتية:

1 - **الأراضي العمرانية** وتشمل:

1-1- المناطق السكانية.

1-2- مناطق التجارة والخدمات.

1-3- المناطق الصناعية.

1-4- مناطق المواصلات والاتصالات.

1-5- المناطق الصناعية التجارية.

1-6- المناطق العمرانية المختلطة.

1-7- المناطق العمرانية الأخرى.

2- **الأراضي الزراعية** وتشمل:

2-1- مناطق المحاصيل الزراعية والعلفية.

2-2- المناطق المحددة لإنتاج الغذاء.

2-3- البساتين والأعناب والمشاتل ونباتات الزينة.

2-4- المناطق الزراعية الأخرى.

3- **الأراضي الرعوية** وتشمل:

3-1- المراعي العشبية.

3-2- المراعي الشجيرية.

3-3- المراعي المختلطة.

4- **الأراضي الغابوية** وتشمل:

4-1- الغابات متساقطة الأوراق.

4-2- الغابات المختلطة.

4-3- الغابات دائمة الخضرة.

5- **الأجسام المائية** وتشمل:

5-1- الجداول والغدران.

5-2- البحيرات.

5-3- خزانات السدود.

5-4- الخلجان والمصبات النهرية.

6- **الأراضي الرطبة** وتشمل:

6-1- الأراضي الغابوية الرطبة.

6-2- الأراضي غير الغابوية الرطبة.

7- **الأراضي الميتة** وتشمل:

7-1- السبخات الملحية.

7-2- الشواطئ البحرية.

7-3- الرمال غير البحرية.

7-4- التكشفات الصخرية.

7-5- مواقع المناجم والمقالع.

7-6- المناطق الانتقالية.

7-7- الأراضي الميتة المختلطة.

8- **السهب القطبية** وتشمل:

8-1- السهوب الشجرية.

8-2- السهوب العشبية.

8-3- السهوب الجرداء.

8-4- السهوب الرطبة.

8-5- السهوب المختلطة.

9- **الثلج الدائم والجليد** ويشمل:

9-1- مناطق الثلج الدائم.

9-2- مناطق الجليديات[17].

2- مشروع مسح استعمالات الأراضي في العالم:

تصنف الفئات التي اقترحها الاتحاد الجغرافي الدولي لمشروع مسح استعمالات الأراضي في العالم إلى ما يلي:

1- مراكز الاستقرار وما يتصل بها من أرض غير زراعية.

2- مزارع الخضراوات وحدائق الفاكهة.

3- المحاصيل الشجرية والمحاصيل الدائمة الأخرى.

4- أراضي المحاصيل الزراعية، وتنقسم إلى قسمين:

[17] عبد الرحيم لولو. نظم تصنيف استعمالات الأراضي المستخدمة في الاستشعار عن بعد، مجلة الاستشعار عن بعد. العدد الحادي عشر، 1999 ص(41، 42).

أ- المحاصيل الدائمة (المحاصيل التي تزرع سنة بعد أخرى على قطعة الأرض نفسها) ومحاصيل الدورة الزراعية (المحاصيل التي تدخل زراعتها في دورة ثابتة أو متغيرة).

ب- الأراضي الداخلة في دورة زراعية (أي تظل الأرض في هذا النظام من الاستعمال مزروعة لبضع سنوات ثم تترك بوراً للراحة لسنوات عدة قبل أن تزرع ثانية).

5- المراعي الدائمة المحسنة.

6- أراضي الرعي غير المحسنة.

7- الغابات، وفئات الغابات في هذا التصنيف كما يلي:

أ- غابات كثيفة

ب- غابات مفتوحة وفيها لا تتشابك أغصان الأشجار.

ج- الأحراج

د - غابات المستنقعات

هـ- غابات اجتثت أو أحرقت أشجارها ولم تكسَ أرضها بها تماماً.

و- غابات بها زراعة ثانوية.

8- المستنقعات والسبخات عذبة أو مالحة أجاج.

9- أراضٍ غير منتجة.

3- نظام تصنيف استعمالات الأراضي في سورية:

في بداية التسعينيات ومن خلال مشروع دراسة أراضي المنطقة الساحلية وغاباتها باستخدام تقانات الاستشعار عن بعد والذي نفذ بالتعاون بين الهيئة العامة للاستشعار عن بعد ووحدة الدراسات الهندسية للأراضي والمياه في كلية الزراعة بجامعة دمشق، جرت محاولة لوضع نظام استعمالات أراضٍ أكثر تفصيلاً من النظام الذي وضع في أواخر

السبعينيات، وتم من خلاله إعداد خرائط استعمالات الأراضي والغطاء الأرضي للمنطقة الساحلية في سورية بمقياس 50000/1، وشمل النظام الفئات الآتية:

1- أراضٍ مشادة ومنشآت عمرانية وتشمل:

1-1- مناطق سكنية:

1-1-1: مركز محافظة 1-1-2: مركز منطقة 1-1-3: مركز ناحية

1-1-4: بلدة 1-1-5: قرية

1-2- مجمعات صناعية وتجارية وخدمية:

1-3- مواصلات (مطارات وموانئ).

1-4- مناطق غير مصنفة.

2- أراضٍ زراعية وتشمل:

2-1- زراعة مروية مكثفة.

2-2- زراعة مروية على ضفاف الأنهار والسواقي.

2-3- زراعة بعلية.

3- أراضٍ حراجية وتشمل:

3-1- غابة صنوبر:

3-1-1: غابة صنوبر مغلقة. 3-1-2: غابة صنوبر متدهورة.

3-2- غابة عذر.

3-3- غابة شوح.

3-4- غابة أرز.

3-5-غابة التحريج الاصطناعي

3-6- الماكي:

3-6-1: ماكي مغلق 3-6-2: ماكي مفتوح 3-6-3: ماكي مبعثر

3-6-4: ماكي قمم الجبال 3-6-5: البراح

4- المسطحات المائية وتشمل:

4-1- مسطحات مائية كبيرة.

4-2- مسطحات مائية متوسطة.

4-3- مسطحات مائية صغيرة.

5- أراضي عارية (جرداء) وتشمل:

5-1- الشواطئ.

5-2- التكشفات الصخرية.

5-3- الترب العارية.

5-4- المناجم والمقالع.

5-5- الجوبات.

4.7.6- أساليب تحليل الصور في دراسة استعمالات الأراضي وتفسيرها:

يقصد بتحليل الصور الجوية والفضائية وتفسيرها، مجموعة العمليات المترابطة التي تهدف إلى استخراج المعلومات منها، ويتم ذلك بوساطة تحليل الصورة، وهي عملية تمييز المكونات الرئيسة للصورة، أما التفسير فالمقصود به تسمية هذه المكونات كاملةً ووضع مفتاح خاص بها.

لا يمكن تحقيق وضوح أو رؤية كاملة في الصور في أثناء التفسير، كما لا يمكن تحديد خصائص أي ظاهرة فقط بدراسة عناصرها الخارجية التي تظهر على الصورة، إذ لا بد من الاستعانة ببعض الخصائص المورفولوجية، لا يمكن أن نركن إلى تفسير الصور فقط فيما يخص استعمالات الأراضي، فلا بد من الدراسة الميدانية، ومن الضروري دراسة الظروف والشروط الخاصة بالمنطقة كتصنيف التربة ودراسة محتواها من الماء وارتفاع التضاريس وشدة الانحدار وغيرها، وأياً يكن من الأمر فإن منهج تفسير الصور الجوية والصور الفضائية يتباين تبعاً لهدف الدراسة.

تتوقف قدرة مفسر الصور على تمييز الظواهر الموجودة في الصورة، على خلفيته العلمية ودرجة معرفته بظواهر سطح الأرض الطبيعية، وتتناقص أهمية أدلة التفسير مع تزايد خبرة مفسر الصور.

تتوقف دقة بيانات استعمالات الأراضي التي يتم الحصول عليها بوساطة تحليل الصور الجوية والفضائية وتفسيرها على مجموعة من العوامل هي:

1- الخلفية العلمية التي يتمتع بها محلل الصورة.
2- نوعية الصور المتوفرة.
3- مقياس الصورة.
4- مدى دقة الخصائص الهندسية للصورة.
5- نوعية الأجهزة التي تساعد في عملية التحليل والتفسير.
6- المعلومات الأساسية المتوفرة عن المنطقة المصورة.
7- درجة تعدد الاستعمالات.
8- نظام التصنيف المستخدم في تصنيف استعمالات الأراضي.

5.7.6- استخدام الصور في دراسة تغير استعمالات الأراضي:

إن السمة الأبرز لاستعمالات الأراضي، هي التغير السريع لاسيما في العقود الأخيرة، وذلك نتيجةً لتطور الإنسان التقني من جهة، وتعقد الأنشطة الاقتصادية والبشرية التي يمارسها من جهة أخرى، ومن ثمّ كان لا بُدّ من تطوير وسائل جمع المعلومات والبيانات عن استعمالات الأراضي وأساليبها، وهنا يأتي دور تقانات الاستشعار عن بعد، التي تتطور بخطوات سريعة، حتى غدت من أهم وسائل جمع البيانات الخاصة باستعمالات الأراضي، فمن التصوير الجوي، انتقل الإنسان إلى عصر الفضاء بإرساله الأقمار الصناعية إلى مدارات حول الأرض، محملة بأحدث المواسح الإلكترونية مثل الماسح متعدد الأطياف MSS، الذي يلتقط صوراً للأرض بعدة

أطياف، والماسح الغرضي TM المحمول على متن القمر الصناعي Landsat، ثم تَبعتها أقمار أخرى أكثر دقة مثل IKONOS، حيث بلغت الدقة المكانية 1 م في الصور البنكروماتية و4 م في الصور المتعددة الأطياف، ووصلت في القمر الأمريكي Quick Bird إلى 61 سم في الصور البنكروماتية، و2.44 م في الصور متعددة الأطياف.

كما تطورت الدقة الطيفية أيضاً وأصبح هناك مواسح فائقة الطيفية تصل دقتها إلى 30 سم ومواسح فوق فائقة الطيفية وفيها مئات القنوات الطيفية وآلافها، من ثمّ أصبحت هذه الأقمار تؤمن بيانات عالية الدقة عن استعمالات الأراضي وبشكل دوري، مما يساعد كثيراً في التخطيط السليم لاستعمال الأرض.

تجدر الإشارة هنا إلى أن البيانات التي يتم الحصول عليها من الصور الجوية والفضائية تأتي في المرتبة الأولى فيما يخص جمع المعلومات عن استعمالات الأراضي بهدف التخطيط في معظم الدول المتقدمة.

8.6- تطبيقات الخرائط وتطويرها:

1.8.6- استخدام معطيات الاستشعار عن بعد في مجال الكارتوغرافيا:

تهتم الكارتوغرافيا بدراسة التوزع المكاني للظاهرة وبحثه وتمثيله وفهم بنيته ودراسة العلاقات بين الظواهر الطبيعية والفعاليات البشرية وتمثل الخريطة النتيجة النهائية التي يتم الحصول عليها لدراسة المشروع. سواءً من خلال معطيات الاستشعار عن بعد، أم من معطيات أخرى، وإن دقة هذه الخرائط تُعدّ الأساس في دراسات كثيرة منها الدراسات الخاصة بحل مشكلات البيئة.

إن الحصول على الخرائط بالاعتماد على معطيات الاستشعار عن بعد يتم بسرعة ودقة أكبر بالمقارنة مع الطرائق التقليدية، وقد استُخدمت الصور الجوية في البداية في وضع الخرائط الطبوغرافية تليها الخرائط الغرضية كخرائط التربة، النبات، الخرائط

الجيولوجية والجيومورفولوجية وغيرها، بوساطة الصور الفضائية التي تُلتقط بمواسح متعددة الأطياف MSS.

كما تنوعت الخرائط الموضوعة بوساطة الصور الفضائية، حيث مُثِّلت عناصر اللاندشافت على الخرائط. ومن ثمّ أصبحت الكارتوغرافيا وتفسير الصور الجوية ومعالجة الصور الفضائية، وتقانات إخراج الخرائط من أهم الموضوعات التي شغلت الباحثين في السنوات الأخيرة.

عند وضع الخرائط بوساطة معطيات الاستشعار عن بعد يتم المرور بالمراحل الآتية:

1- الحصول على معطيات الاستشعار عن بعد وهي:

أ) صور جوية عادية بنكروماتية (أبيض وأسود) أو ملونة.

ب) صور جوية عادية أو ملونة ملتقطة بمواسح متعددة الأطياف.

ت) صور فضائية عادية (بنكروماتية) أو ملونة ملتقطة بوساطة المواسح المتعددة الأطياف MSS أو المواسح الغرضية TM، أو المواسح الأخرى التي يصل عدد قنوات بعضها إلى 36 قناة.

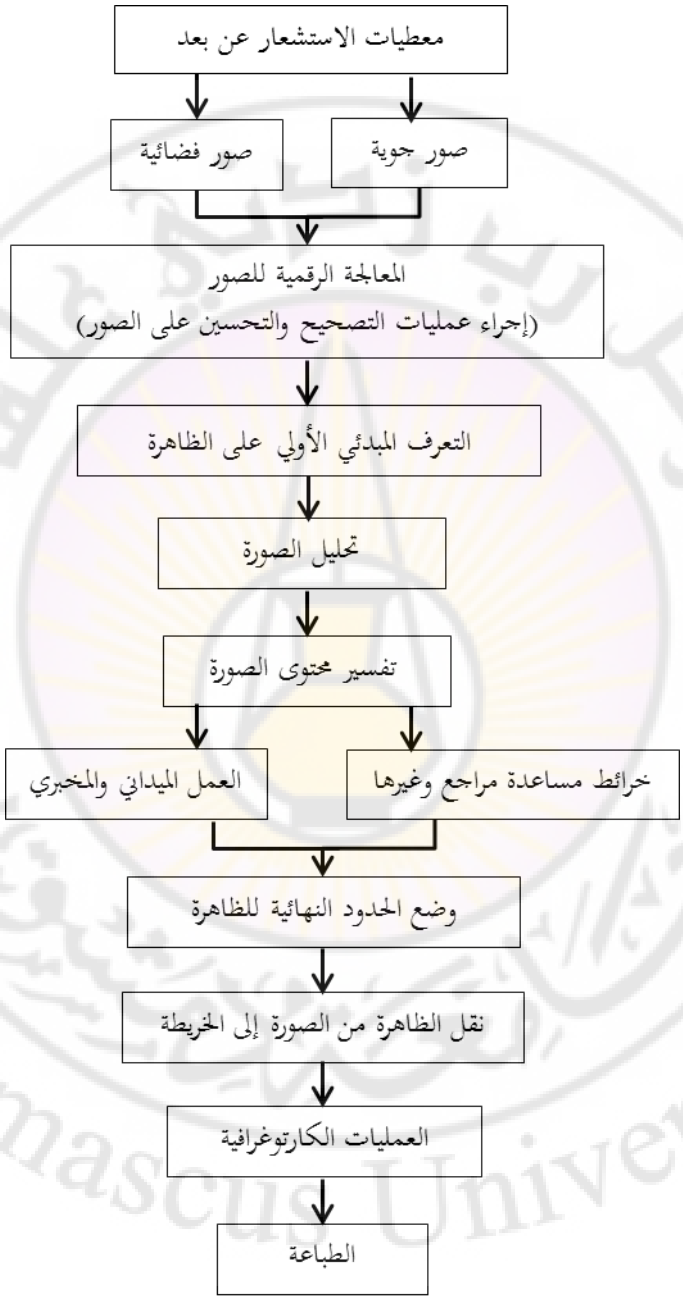
2- تأمين معلومات إضافية من الخرائط أو النشرات الإحصائية.

3- الحصول على معلومات خاصة بالمعالجة الرقمية من مختلف أجهزة الاستشعار عن بعد، وبمختلف المقاييس.

4- تصنيف المعلومات وترتيبها ضمن أنظمة جغرافية ورياضية معينة.

5- معالجة هذه المعلومات وتحويلها إلى خرائط وحل المشكلات الكارتوغرافية المتعلقة بالتمثيل والإخراج والطباعة.

ويظهر **الشكل (125)** الخطوات المتبعة لوضع الخرائط.



شكل (125): مخطط مراحل وضع الخرائط بوساطة معطيات الاستشعار عن بعد

2.8.6- وضع الخرائط من خلال معطيات الاستشعار عن بعد:

أولاً: وضع الخرائط الغرضية (الخاصة):

إن الصور الملتقطة بوساطة المواسح متعددة الأطياف MSS تُعدّ مادة أساسية في وضع الخرائط الغرضية (الخاصة)،، التي تمر بالمراحل الآتية:

1- القراءة البصرية للصورة.
2- تحديد المنطقة أو المساحة المراد تمثيلها في الصورة ثم نقلها إلى الخريطة.
3- معالجة التشويه وتصحيحه (إجراء عمليات التصحيح والتحسين على الصور).
4- معالجة الصور.

إن تمثيل استعمالات الأراضي أو تمثيل التربة وتوزع أنواع الصخور والنبات وغيرها من الموضوعات الخاصة، أصبحت الهدف الرئيس لاستخدام معطيات الاستشعار عن بعد في مجال الكارتوغرافيا، وذلك لأن الاستشعار عن بعد يُقدم معلومات حديثة بالمقارنة مع المعلومات التقليدية وطرائق الرسم التقليدية. بالإضافة إلى دراسة ظواهر أخرى آنية ووضع خرائط لها، كتوزع الحرارة على سطح الأرض.

إن الحصول على المعطيات الخاصة بهذا النوع من الخرائط يمكن الحصول عليه من الصور الفضائية الملتقطة بالأشعة تحت الحمراء الحرارية في المجال الطيفي 8- 14 ميكرومتر. وهذا النوع من التصوير يوفر الدقة والوقت، ومن ثمّ يعطي خرائط أكثر دقة وفي وقت قصير.

ثانياً: خرائط الصور Foto Map:

هي موزاييك أو لوحة من مجموعة صور كبيرة المقياس وخالية من التشويه. وهذه الخرائط تحتوي على مظاهر سطح الأرض وتتم برسم خطوط التسوية وشبكة الإحداثيات فيها وبتمييز طرق المواصلات برموز خاصة، وتستخدم كبديل عن الخرائط الطبوغرافية في

كثير من الحالات ولا سيما في الأعمال العسكرية، ويمكن أن تنتج هذه الخرائط بالشكل الأمثل فتصبح أساساً لوضع الخرائط الطبوغرافية أو أساساً في وضع الخرائط الغرضية ويمكن استخدامها في أعمال التخطيط الإقليمي وتخطيط الزراعة والغابات كاستخدامها في تحسين التربة وغيرها.

ثالثاً: وضع خرائط الطقس:

إن وضع خرائط الطقس بالاعتماد على الصور الفضائية يساعد على ما يلي:

1- تعيين مناطق الرياح الشديدة في طبقات الجو العليا.

2- التنبؤ لمدة قصيرة عن مواقع تشكل الضباب والغيوم.

3- يمكن بوساطة الصور الملتقطة صباحاً وضع خرائط تبين حدود مناطق تشكل الضباب، وغيوم الستراتوس المرافقة لمناطق الضغط المرتفع.

رابعاً: رسم الخرائط الجيولوجية:

تتميز الأرض بسطح متبدل شديد التعقيد، تنم تضاريسه الطبوغرافية وتركيب مادته على مادة صخر الأساس والمواد غير المتماسكة التي توجد تحت كل جزء من هذا السطح، كما تنمّ على عوامل التغير التي أثرت فيها. فكل نوع من الصخور، وكل شق، وكل تأثير للحركات الداخلية. وكل ظاهرة من مظاهر الانجراف والترسيب، يحمل بصمة العمليات التي سببته. وعلى من يقوم بوصف مواد وبنيات الأرض وتعليلها، أن يلمّ بمبادئ علم أشكال الأرض، وأن يكون قادراً على أن يميز مظاهر السطح الناجمة عن هذه البنيات. ومن خلال عمليات تفسير الصور الجوية ورسم الخرائط الجيولوجية يمكن تحديد هذه المواد والبنيات وتعليلها.

ويتطلب رسم هذه الخرائط دوماً مقداراً مهماً من التحريات الحقلية، إلا أنه يمكن تسهيل العملية كثيراً من خلال استعمال الصور الجوية والفضائية. ويتم ذلك على أنواع عدة من الصور بدءاً من الصور الجوية (الفوتوغرافية) وتطور إنتاجها مع تطور الأقمار الصناعية وتعددها.

أ) الصور الجوية (الفوتوغرافية):

كانت أولى الصور الفوتوغرافية التي التقطت من على طائرة بهدف رسم خارطة جيولوجية هي تلك التي استخدمت لرسم خارطة فسيفسائية لتغطية بنغازي في ليبيا عام 1913م. وأول استخدام للصور الجوية عامة، إنما كان لرسم خرائط أساس لتجميع المعطيات الجيولوجية، ولا سيما المعطيات التي تُطبق في التنقيب عن النفط. وكان تفسير الصور الجوية قد بدأ في العشرينيات من هذا القرن.

إلا أنه من الشائع استخدام تفسير الصور ولم تبرز أهميته في رسم الخرائط الجيولوجية إلا في الأربعينيات ويتضمن رسم الخرائط الجيولوجية تعرّف أشكال الأرض وأنواع الصخور وبنياتها (طيات وصدوع وشقوق وفوالق) ورسم الوحدات والبنيات الجيولوجية على الخارطة أو أي مظهر آخر في مواقعها الصحيحة. ويمكن أن تستعمل الصور الجوية المجسمة بمقاييس كبيرة في مثل 20000/1، لرسم الخرائط المفصلة.

ويتضمن رسم الخرائط صغيرة المقياس رسم القسمات الخطّية Linements، أي إبراز المعالم الخطية الإقليمية الناجمة عن الرصف الخطوطي Linear للمعالم المورفولوجية مثل: الأنهار الكبيرة والجروف والسلاسل الجبلية والمعالم المميزة بشدتها اللونية التي تمثل في كثير من المناطق، المظاهر السطحية للشقوق أو المناطق المتصدعة. ويمكن أن يتراوح طول البنيات الخطية الرئيسة من عدة كيلومترات إلى مئات الكيلومترات. ويُعدّ تحديد هذه البنيات الخطية على الخرائط مهماً بالنسبة إلى عمليات التنقيب عن المصادر المعدنية، نظراً لأن الكثير من توقعات رواسب الخامات (Ore Deposits) تقع على طول المناطق المتصدعة.

وهناك عوامل عدة تؤثر في الكشف عن البنيات الخطية، أهمها: العلاقة الزاوية بين المعلم الخطي ومصدر الإضاءة. فالمعالم التي يكون اتجاهها موازياً إلى مصدر الإضاءة، لا يمكن كشفها بسهولة كتلك التي يكون اتجاهها عمودياً. ويفضل الإضاءة المائلة ذات الزاوية الصغيرة نسبياً في الكشف عن المعالم الخطية الضعيفة.

ويستعمل كثير من المفسرين شبكة رونكي Roncki لوضع خرائط البنيات الخطية، هذا بالرغم من أن الرؤية البسيطة (غير المجسمة) تناسب رسم خرائط البنيات الخطية، فإن رسم الخرائط الليثولوجية (خرائط الوحدات الصخرية) يتحسن كثيراً باستعمال الرؤية المجسمة.

وإن عملية تحديد نوع الواحدة الصخرية ورسمها على الخارطة يتطلب دراسة صور المنطقة المراد دراستها بالمنظار المجسم، وذلك لتحديد شكل تضريسها وشدتها اللونية وغطائها النباتي الطبيعي. ويمكن تمييز معظم الوحدات الصخرية في المناطق العارية استناداً إلى شكل تضاريسها (طبوغرافيتها) وخصائصها الطيفية، ولا سيما فيما يظهر بالأفلام الملونة أو الأفلام الملونة الحساسة للأشعة تحت الحمراء.

أما في المناطق المغطاة بالغطاء النباتي فإن هذا التمييز يصبح أصعب بسبب اختفاء سطح الصخر تحت الغطاء النباتي. وغالباً ما يستخدم الغطاء النباتي دليلاً غير مباشر لمعرفة تركيب التربة والمواد الصخرية الموجودة تحته. والتوجه الجيونباتي في رسم الخرائط الجيولوجية باستخدام صور الاستشعار عن بعد يمثل خير تمثيل التعاون الكبير بين الجيولوجيين وعلماء التربة وعلماء النبات الحقليين، شرط ألا يكون لهؤلاء خبرة في الاستشعار عن بعد.

ويعتقد كثير من الجيولوجيين أن الانعكاس في المجالات الطيفية حول 1.6 و2.2 ميكرومتر يكون مهماً. وخاصة في التنقيب عن المعادن ورسم الخرائط الليثولوجية (الصخرية).

ب) القمر الصناعي سبوت (SPOT):

أظهرت العديد من الدراسات استخدام بيانات سبوت لرسم الخرائط الليثولوجية، والكشف التلقائي عن الأخطاء المرسومة[18].

[18] Multi- and hyperspectral geologic remote sensing: A review.Freek D. van der Meer*، Harald M.A. van der Werff، Frank J.A. van Ruitenbeek، Chris A. Hecker ،Wim H.

ت) القمر الصناعي لاندسات (Landsat):

استُخدمت صور TM لسنوات عديدة من قبل أجهزة التحكم عن بعد الجيولوجية والاستشعار، لرسم خرائط الصخور وعلى وجه التحديد لرسم خريطة المعادن.

ث) خرائط الماسح آستر (ASTER):

هذا الماسح قدم تعزيزات وقدرات لرسم الخرائط المعدنية، هذه التعزيزات استعان بها مجتمع الاستشعار عن بعد الجيولوجي. حيث إن المستوى العالي من المعايرة التي تتم في الماسح ASTER والمتمثلة بمعايرة (الإشعاع، الانعكاس، والانبعاث، ودرجة الحرارة)، يمكن أن يعطي خرائط جيولوجية مباشرة دون الحاجة إلى عمليات التفسير والمعالجة اللاحقة.

لكن الماسح ASTER ليس لديه إمكانية التمييز في الطول الموجي الأزرق الذي تتميز بها أقمار لاندسات TM، ومن ثمّ ASTER لا يمكن أن تنتج صور مركبة بالألوان الحقيقة ومن ثمّ فإن الظواهر الجيولوجية فيها لن تكون واضحة في حال استخدام هذه الصور للتفسير البصري وإنتاج خرائط لاحقة.

ومع ذلك، فإنّ ASTER لديه قدرة فائقة على إعطاء نماذج ارتفاعات رقمية تساعد في إعطاء خرائط ارتفاعات متساوية وخرائط هيدرولوجية دقيقة تساعد في تحديد أشكال الأرض وانحداراتها بسهولة والمجالات المتعددة فيها ضمن الأشعة SWIR تعطي ثروة من المعادن والمؤشرات التي ستُحسب. على وجه الخصوص المجالات الضيقة في SWIR والقنوات الإضافية في TIR تُعدّ خطوة من مؤشرات تغيير الخرائط وتستخدم (مع لاندسات TM) لرسم الخرائط المعدنية.

وهناك مشاريع رسم الخرائط الجيولوجية الإقليمية التي تستهدف التنقيب عن المعادن في مناطق التعدين، وتُطبّق هذه المشاريع عن طريق دمج مجموعة بيانات لأكثر

Bakker، Marleen F. Noomen، Mark van der Meijde، E. John M. Carranza ،J. Boudewijn de Smeth، Tsehaie Woldai.p113.

من 100 مشهد من مشاهد ASTER على شكل سلسلة متكاملة. وقد استخدمت بيانات ASTER على نطاق واسع لرسم الخرائط الليثولوجية.

ويوجد دراسة متكاملة عن إمكانات بيانات ASTER والعديد من أجهزة الاستشعار (الأقمار الصناعية) الأخرى لرسم خرائط التضاريس الرسوبية في جنوب تونس. كما وتركز بعض الأعمال على رسم الخرائط الليثولوجية الأكثر عمومية. واستخدمت بيانات ASTER أيضا في رسم الخرائط الغرانيتية في غرب نيبال من خلال إقامة علاقة بين وجود الغرانيت والإشنيات التي تتواجد فوقه.

ج) الصور فائقة الطيفية (Hyperspectral):

هدف الصور فائقة الطيفية هو قياس مكونات نظام الأرض كمياً عن طريق معايرة الأطياف المكتسبة (إشعاع منعكس أو منبعث) وإعطاء النتائج على شكل صور في العديد من النطاقات الطيفية الضيقة والمتصلة. ويتم ذلك في التطبيقات الجيولوجية باستخدام ميزات الامتصاص الطيفية لإنتاج خريطة تكوين سطح الأرض أو لتحديد كمية الصخور أو التربة باستخدام منتجات الصورة التي تم حُصل عليها.

في الوقت الراهن، تقوم المنطقة الحرة للأرصاد الجوية والمركز الألماني لتطوير الفضاء الجوي، بتطوير الفضاء المنقول بالطاقة فائقة الطيفية بوصفها أداة في إطار رسم الخرائط البيئية والجيولوجية والتحليل ببرنامج (ENMAP). وتستخدم الصور فائقة الطيفية في وكالة الفضاء الأوروبية في رسم خرائط جيولوجية لسطح المريخ بدقة مكانية 0.3-5 كم.

هناك بعض الدراسات حول استخدام الاستشعار عن بعد فائق الطيفي لرسم الخرائط الصخرية في الظروف القطبية الشمالية وفي التضاريس الغرانيتية، حيث إنّ معظم الدراسات تركز على المعادن المولدة للحمض في المخلفات مثل البيريت وخريطة التوزيع المكاني للأكسدة المنتجة، كمؤشر على مستوى التلوث في البيئة. وتركز هذه الدراسات في المقام الأول على رسم خرائط السطح وعلم المعادن، وإهمال جوانب نوعية البيئة،

وجوانب الصحة إلى حد كبير، وربط الترشيح السطحي بنقل العناصر والنقل في المياه الجوفية.

خامساً: خريطة استعمالات الأراضي وتحديثها:

خريطة استعمالات الأراضي عبارة عن سجل كارتوغرافي شامل يعكس بيانات ومعلومات كثيرة ومهمة عن الاستعمالات المتنوعة للأرض وأغطيتها المختلفة في الفترة التي تمت فيها عملية المسح، وهي ذات أهداف علمية دراسية وعلمية تطبيقية تفيد في عمليات التخطيط والإنماء والتعمير والإنشاء، لذا فلا غنى عنها لأية دولة. بالإضافة إلى قيمة خريطة استعمالات الأراضي في وقتها فإن لها فائدة تاريخية كبيرة لأنها تُمكن من دراسة التغيرات التي طرأت على استعمالات الأراضي عبر الزمن.

تتغير استعمالات الأراضي بصفة مستمرة، إلا أن هذا التغير لا يحدث بنسبة واحدة بل يتفاوت معدله من مكان لآخر ومن وقت لآخر ومن قطاع لآخر، أي إنّ معدل التغير يتفاوت جغرافياً وتاريخياً وقطاعياً، فعلى سبيل المثال " تزحف المباني على الأراضي الزراعية المجاورة لها بمعدلات كبيرة وسريعة، وهذا أمر غير مرغوب فيه، ويجب مراجعته خلال فترات قصيرة لترشيده، وتوجيه حركة البناء بعيداً عن الأراضي الزراعية، بينما تتغير استعمالات الأراضي في المناطق الصحراوية الحارة والجافة، وكذلك في الجهات التي يغطيها الجليد ببطء شديد".

تستدعي هذه التغيرات تحديث خريطة استعمالات الأراضي بصفة مستمرة، وتجدر الإشارة إلى أن تحديث خريطة استعمالات الأراضي يتوقف على طبيعة التغير الذي طرأ وكميته، وأهميته النسبية، وموقع التغير، ومدى تركزه وانتشاره الجغرافي، ونوعية البيانات المتوفرة لإنجاز التحديث، والخرائط ومقاييسها التي سيستعان بها في هذا الخصوص، وما الخريطة أو أجزاؤها التي ستحدث، وما الطرق التي ستستخدم لتحديد التغيرات التي حدثت، وما الإجراءات والبرامج التي سيعتمد عليها في تحديث خريطة استعمالات الأراضي.

أما تكرارية تحديث خريطة استعمالات الأراضي فيتم بناءً على أحد معيارين هما:

- إما أن يحدث التعديل بناءً على فاصل زمني ثابت ومحدد
- أو أن يتم تبعاً لطبيعة التغير الذي حدث وكميته متى حدث بغض النظر عن الفترة الزمنية

ومعنى هذا أن تحديث خريطة استعمالات الأراضي إما أن يتم بعد فاصل زمني محدد، أو يتم تحديثها إذا كانت تغيرات تستدعي ذلك قد وقعت، وفي الحالة الأولى يُربَط المدى الزمني لتحديث الخريطة بنظيره في حالة تعداد السكان والتعداد الزراعي، والصناعي، والتجاري، أو بتاريخ توفير الصور الجوية والفضائية ومدى إمكانية الحصول عليها، وهذا يحدث في الولايات المتحدة كل 1-5 سنوات، وهذه الطريقة للتحديث تمتاز بأنه لا يعاد النظر في خريطة استعمالات الأراضي إلا بعد حلول هذا التاريخ مهما حدث من تغير، أما الطريقة الثانية لتحديث خريطة استعمالات الأراضي والتي تعتمد على طبيعة التغير الذي حدث فيستدعي ذلك فحص تصنيفات استعمالات الأراضي على المستوى العام، والإقليمي، والمحلي وتقسيمها إلى مناطق عالية التغير، ومناطق قليلة التغير ومناطق ثابتة (لا تغير يذكر فيها)، فهنا نحدد أنه يوجد تغيرات في استعمالات الأرض يستدعي الأمر توضيحها بسرعة، وأخرى يمكن تأخيرها بعض الوقت، وهذه الطريقة تمتاز بأنه لن يتم تحديث خرائط استعمالات الأرض كل بل الخريطة التي حدث فيها تغير مهم يستدعي ذلك فقط.

9.6- تطبيقات مراقبة البحار والمحيطات.

يدخل الاستشعار عن بعد في دراسة مياه البحار والمحيطات، حيث يمكن من خلال استخدام معطيات المشعرات الخاصة بدراسة الأعماق (سونار، ليدار، رادار...)

سبر مدى الملوحة والكثافة والتلوث وتقدير أماكن الثروات الطبيعية وإجراء العديد من الدراسات البيئية الأخرى.

1.9.6- أهمية دراسة البحار والمحيطات:

تُعدّ دراسة المياه في البحار والمحيطات من أهم تطبيقات الاستشعار عن بعد حيث تغطي البحار والمحيطات حوالي 70% من سطح الأرض، وهي مياه مالحة، تصل نسبة الملوحة فيها إلى 3.5%، وتتكون غالباً من أملاح كلوريدات وكبريتات الصوديوم والبوتاسيوم والمغنزيوم وغيرها، غير أن حركة المياه في البحار والمحيطات تؤثر بشكل كبير في مناخ كوكب الأرض، حيث يُعدّ مناخ الكوكب نتاجاً مباشراً لتفاعل هذه الكتلة المائية الهائلة مع اليابسة، حيث تؤثر الحركة الكبيرة للمياه الحارة من المناطق الاستوائية إلى المناطق القطبية، في المناخ وفي معدلات ذوبان الثلوج.

2.9.6- الخصائص الانعكاسية لمياه البحار والمحيطات:

من المعلوم أن قسماً ضئيلاً من الأشعة الشمسية الساقطة على سطح البحار والمحيطات ينعكس والقسم الأكبر يمتص، وقدرة الانعكاس تتعلق بزاوية سقوط الأشعة الشمسية وقرينة الانكسار وهدوء السطح، فعندما تكون أشعة الشمس عمودية على سطح البحر تكون القدرة الامتصاصية للماء عالية وتبلغ 98% بينما يكون مقدار الأشعة المنعكسة 2% فقط، ولكن عندما يتناقص ارتفاع الشمس تتغير نسبة الأشعة المنعكسة حيث تبلغ 20% عندما تكون درجة ميلان الأشعة الشمسية 15%.

كما أن سطح البحر نادراً ما يكون أملساً وإنما يتميز بتحرك الأمواج فيه، بالإضافة إلى احتوائه على عناصر ومواد مختلفة الأحجام تسبب وحدة هذا السطح، ومن ثمّ تتغير كمية الأشعة المنعكسة من مكان لآخر. في هذا النوع من الدراسات تُستخدم الأشعة تحت الحمراء الحرارية، والأشعة الميكروية القصيرة. حيث نجد أن المياه في مجال

الأشعة تحت الحمراء تسلك سلوك الجسم الأسود، وكمية الأشعة المنعكسة تتعلق بحرارة المياه من جهة، وطول الموجة المستخدمة في التصوير من جهة أخرى.

تتعلق الخصائص الانعكاسية للمياه بما يلي:

1- الشوائب التي تحتويها المياه: إن مياه البحار والمحيطات تحتوي العديد من الشوائب القارية والمحيطية ووجود هذه الشوائب يؤثر في عاكسية المياه فعندما تكون المياه صافية تكون العاكسية قليلة وكلما زادت كمية الشوائب في المياه ازدادت القدرة الانعكاسية.

2- ارتفاع الأمواج وحركتها الداخلية: عدم استقرار السطح يزيد من القدرة الانعكاسية.

3- الاختلاط البيولوجي العضوي: من المعروف أن مياه البحار والمحيطات تحتوي أنواعاً مختلفة وأعداداً هائلة من البلانكتون سواءً الحيواني أم النباتي. يمكن الكشف عنها بوساطة القدرة الانعكاسية للمياه وكذلك الكشف عن أسراب الأسماك بوساطة الصور الفضائية حيث تقل القدرة الانعكاسية للمياه وتزيد حسب كمية الأسماك وحسب قربها من السطح أو بعدها عنه.

4- لون المياه وعمقها: إن لون المياه وعمقها يؤثر بشكل كبير في انعكاس الأشعة الشمسية حيث إنّه كلما زاد عمق المياه تناقصت القدرة الانعكاسية ومن ثمّ يمكن الكشف عن تضاريس القاع عن طريق الصور الجوية والفضائية، وكذلك الكشف عن وجود الرصيف القاري.

3.9.6- الأقمار المستخدمة لدراسة البحار والمحيطات:

بدأ علم دراسة المحيطات باستخدام الأقمار الصناعية بداية حقيقية عام 1978م، مع إطلاق الأقمار "تيروس " TIROS و"نمبوس" Nimbus و"سي سات " Seasat. وهذه الأقمار الثلاثة مزودة بأجهزة لرصد المحيطات.

وعندما أطلقت الولايات المتحدة الأمريكية القمر Nimbus-7 للحصول على معلومات تتعلق بالمحيطات والبحار والجو، فإنها حددت مجالات معلوماته بما يلي:

أ. ألوان المحيطات، والمواد العالقة بالمياه المالحة.

ب. توزيع الثلوج بالبحار والمحيطات، وتكوين الغلاف الجوي.

ج. ميزان الطاقة الخاص بسطح الأرض.

تستخدم الأقمار الصناعية المخططة لرصد البحار والمحيطات، بصفة عامة، الإشعاع الكهرومغناطيسي في مناطق مختلفة من الطيف. وللموجات في مناطق الطيف المختلفة خصائص مختلفة يمكن استخدامها للقياس والرصد. فالأشعة تحت الحمراء تنتج عن تغيرات حرارية، والأشعة الضوئية تستخدم في التصوير النهاري العادي، بينما تتمتع الأشعة متناهية القصر ميكروويف Microwaves بخصائص اختراق عالية، ولذلك لا تتأثر بالغلاف الجوي.

في عام 1985م أصبح من الممكن النظر بشكل مختلف إلى عالم أحواض المحيط، وذلك عندما أطلقت البحرية الأمريكية ومعمل "جون هوبكنز" للفيزياء التطبيقية قمراً صناعياً سمي "جيوسات" Geosat يحمل راداراً وجهازاً لقياس الارتفاعات، وذلك لعمل قياسات لسطح البحر طبوغرافياً، حيث أظهرت انعكاسات الرادار الأرض الوعرة، والتضاريس الكبيرة في قاع المحيط.

وقد سُمح بنشر المعلومات التي حُصل عليها بوساطة هذا القمر، وذلك استجابة للالتماس الذي قدمه العلماء، غير العسكريين، ولكن أغلب المعلومات ظلت سرية لأهميتها للبحرية الأمريكية. ثم سمحت البحرية الأمريكية بعد ذلك بنشر المعلومات كلها، وذلك بعد شهور قليلة من قيام القمر الصناعي ERS-1 التابع لوكالة الفضاء الأوروبية بالتوصل إلى مسح مشابه للبحر، مما سمح للمرة الأولى، بعدم بقاء المعلومات سرية، وإعطاء صورة مفصلة عن أحواض المحيط كلها.

وقد زودت المعلومات التي وفرتها هذه الأقمار الصناعية العلماء بتحليل غير عادي لمجال جاذبية الأرض من خلال المحيطات. وأتاح تدفق المعلومات الجديدة مواجهة مجموعة من الأسئلة الجوهرية حول طبوغرافيا قاع البحار والمحيطات.

4.9.6- البحث عن مصادر الثروة في البحار والمحيطات:

اتضح أن أجزاء كثيرة من المحيطات والبحار لا تزال مجهولة، حيث لم يكن ممكناً الوصول إليها لدراستها بالطرق التقليدية، حتى يمكن الكشف عما قد تحويه من مصادر للثروات الطبيعية.

ومع التطور العلمي والتقدم التكنولوجي الذي واكب غزو الفضاء وإطلاق الأقمار الصناعية والسفن الفضائية، أمكن ابتكار أجهزة حديثة للاستشعار عن بعد، يمكن الاستفادة منها في الحصول على الكثير من المعلومات والبيانات المهمة والدقيقة، وبصفة دورية ومنتظمة عن الخصائص الطبيعية لهذه المساحات المائية الشاسعة من البحار والمحيطات، وخاصة النائية منها.

ويمكن استخدام هذه المعلومات في دراسة إمكانات البحار والمحيطات من مختلف الموارد الطبيعية، التي تحتاج إليها البشرية في الوقت الحالي، مع التزايد المطرد في عدد السكان، وما يقابله من تناقص في الثروات الطبيعية على الأرض.

فدراسة توزع أماكن الثروات الباطنية كالنفط والغاز، لها أهمية اقتصادية كبيرة في العالم. حيث تُعدّ مناطق العتبات البحرية والمحيطية من أغنى المناطق بمكامن النفط والغاز. ومثال عليها الخليج العربي والبحر الكاريبي. وتدل إحصائيات العالم في الوقت الحاضر على أن أكثر من 20% من احتياطي البترول في العالم يوجد في البحار والمحيطات، وأكثر من نصف الاحتياطي يوجد في العتبات القارية.

5.9.6- دراسة قاع البحار والمحيطات:

لقد أدرك الجيولوجيون الاختلافات في طبوغرافيا سلاسل الجبال وسط المحيط منذ بداية السبعينيات، ولكنهم لم يكونوا قادرين على إيجاد تفسير مناسب لها. فالانتقال من نمط إلى نمط آخر من أنواع التضاريس، كان يحدث بشكل تدريجي، ويظهر عندما تزداد معدلات الامتداد.

وقد ظلت طبيعة هذا الانتقال غامضة، إلى حد بعيد، وذلك لأن أغلب سلسلة الجبال وسط المحيط، التي امتدت بمعدلات متوسطة، استقرت بعيداً في جنوب المحيط حول القارة الجنوبية، فظلت غير مكتشفة بشكل فعلي. ولكن سلاسل جبال وسط المحيط من المحيطين الأطلنطي والباسيفيكي ظلت تلقى الاهتمام الأكثر، حيث يظهر فيها مراكز امتداد الطبقات السريعة والبطيئة.

وعام 1996م سجل قمر صناعي تابع للبحرية الأمريكية، لأول مرة، صورة واضحة لمعالم أحواض المحيط، مما مكّن العلماء من عمل خرائط عديدة لكثير من المناطق البحرية التي كانت مجهولة من قبل، كما أنها ساعدتهم في الوصول إلى فهم أفضل لأرضية البحار والمحيطات.

حالياً، يحصل العلماء على تغطية منتظمة لقاع المحيط بالقمر الصناعي، حيث يمكن مشاهدة سلسلة الجبال بشكل متكامل، وإجراء مقارنة مباشرة بين الجبال التي امتدت ببطء أو بمعدل متوسط، والجبال التي امتدت بشكل سريع. وما تم اكتشافه كان متعارضاً مع ما كان يعتقد من قبل. فطبوغرافية سلسلة الجبال لا تتغير دائماً بشكل تدريجي، حينما تزيد معدلات الامتداد. وبينما حركة تباعد الطبقات تزداد في معدل سرعتها، أصبحت الوديان الوسطى العميقة في سلسلة الجبال بطيئة الامتداد ومنبسطة تدريجياً. كما أن أرضية البحر التي نتجت جراء هذه الأحداث أصبحت، هي الأخرى كذلك.

كما ويمكن للأقمار الصناعية رسم قيعان المحيطات بشكل مباشر، وذلك بعمل قياسات دقيقة لسطح المحيط بوساطة موجات الرادار، والتي بوساطتها يستدل علماء الجيوفيزياء على طبوغرافية قاع المحيط، لأن هذه الموجات تستطيع اكتشاف الارتفاعات البسيطة في المياه عن طريق جاذبية الثقل للتضاريس الموجودة في قاع المحيط. فالكتل الكبيرة لجبل من قاع المحيط تجذب المزيد من المياه بالقرب منها، مما يؤدي إلى ارتفاع منسوب سطح البحر فوقها بدرجة كافية لأن يكتشفها الرادار.

وقد قامت سفن المسح والاستطلاع بعمل خرائط مساحية، ورسمت خرائط لنحو 7% فقط من مساحة قيعان البحار والمحيطات بوساطة أجهزة السونار Sonar[19]. وحتى المناطق التي رسمت لها خرائط جيدة، كان وجود مساحات كبيرة خالية أساسياً فيها، لسير السفن في اتجاهات واحدة محددة، مما اضطر راسمي الخرائط إلى الاعتماد على التخمين والخيال لملء الثغرات في الخرائط التي غالباً ما كانت تمتد لمئات الأميال.

ويذكر أن عمل مسح لقيعان البحار والمحيطات بوساطة أجهزة "السونار" من الأمور المملة، لأن السفينة التي تحمل الأجهزة تغطي مساحة صغيرة، نتيجة لحركتها في مسار واحد للأمام والخلف لمدة تقترب من الشهر.

6.9.6- دراسة الاختلاط العضوي في مياه البحار والمحيطات:

إن مياه البحار والمحيطات تحتوي أنواعاً مختلفة وأعداداً هائلة من البلانكتون النباتي كالإشنيات، والبكتيريات والبلانكتون الحيواني كالإسفنجيات والرخويات ومفصليات الأرجل والديدان البحرية والفقريات وغيرها من الأحياء. وهذه الكائنات الحية يمكن دراسة تواجدها وانتقالها وتطور أعدادها باستخدام الاستشعار عن بعد حيث إنّ ازدياد أعداد هذه الكائنات في مياه البحار والمحيطات يزيد من القدرة الانعكاسية لهذه المياه.

[19] تم الحديث عنه في الفصل الرابع.

هذا ويُعدّ تغير درجة حرارة سطح المياه أيضاً دليلاً على التغير في الحياة النباتية والحيوانية في المياه. ومن ثمّ يمكن استخدام تقنية الاستشعار عن بعد في معرفة النباتات المغمورة وتقييمها وتحديد أماكن التجمعات السميكة من مصادر الثروة الطبيعية، كما ويمكن معرفة السلوك الحيواني في أثناء الصيد أو في الظروف العادية وذلك بوضع مصدر للطاقة مثل أجهزة راديو صغيرة ذات تردد لموجات طويلة أو مصدر مشع.

7.9.6- دراسة حركات المياه البحرية والمحيطية:

يمكن من خلال الاستشعار عن بعد دراسة حركة الأمواج المحيطية والتيارات المحيطية وحركات المد والجزر.

وكذلك يمكن دراسة ظواهر أخرى متعددة كالتأثير المتبادل بين الماء واليابسة، وتغيرات الملوحة والحرارة فيها، وكذلك، التأثير المتبادل بين مياه البحار والمحيطات من جهة والغلاف الجوي من جهة أخرى.

8.9.6- دراسة الشواطئ:

يمكن من خلال الصور الفضائية دراسة المظاهر الآتية:

1- السواحل.

2- الشريط الساحلي وخط الساحل والظواهر الجيومورفولوجية.

أولاً: الساحل:

الساحل هو المسافة التي تفصل بين اليابسة والبحر أو المحيط ويتألف من الجروف الشاطئية المنحدرة بدرجات مختلفة، وكثيراً ما تتشكل أسفل الجروف الشاطئية تجويفات حفرتها الأمواج البحرية أو المحيطية، ثم تتعرض للهدم والانهيار. ويختلف ارتفاع الجرف حسب نوع الصخور، فقد يصل ارتفاعها إلى مئات الأمتار وقد ينخفض إلى عشرات الأمتار، كما في المناطق السهلية المجاورة للبحار والمحيطات. أما إذا كانت الجروف مكونة

من صخور مختلفة القساوة فإنها تتأثر بأعمال الحت بأشكال مختلفة، ومن ثمّ تتشكل الرؤوس والخلجان.

ومن خلال الصور الفضائية يمكن رؤية السواحل وشواطئها بشكل واضح.

ثانياً: الشريط الساحلي وخط الساحل والظواهر الجيومورفولوجية:

يختلف عرض الشريط الساحلي حسب قرب الصخور من البحر والمحيط أو بعدها عنه. وقد يصل اتساع الشريط الساحلي إلى عشرات الكيلومترات وقد يتناقص إلى عشرات الأمتار. وقد يتعرض هذا الشريط لعمليات مورفولوجية متعددة كالحت والترسيب أما خط الساحل فيتعرض للتسوية نتيجة لأعمال الحت.

وتستخدم الصور الجوية والفضائية في دراسة هذه العمليات ومتابعة تغيراتها الزمنية من ساعة إلى فترات زمنية طويلة.

10.6– تطبيقات بيانات الليدار Lidar

1.10.6– مفهوم الليدار Lidar:

الليدار Lidar والمعروف أيضا باسم لادار LADAR أو قياس الارتفاع الليزري، هو اختصار للكشف عن الضوء ونطاقه (Light Detection And Ranging). وهو يشير إلى تكنولوجيا الاستشعار عن بعد التي تنبعث منها موجات مكثفة ومركزة من الضوء، ويقيس الوقت الذي يستغرقه الكشف عن الانعكاسات من قبل أجهزة الاستشعار.

تُستخدم هذه المعلومات لحساب النطاقات، أو المسافات الواصلة إلى الظواهر. وبهذه الطريقة، الليدار هو مماثل للرادار، إلا أنه يقوم على نبضات منفصلة من ضوء الليزر بدلاً من الموجات الراديوية. ويقوم بحساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (X- Y- Z) للظواهر المستهدفة من خلال:

1- الفارق الزمني بين نبضة الليزر التي تنبعث وتعود.

2- الزاوية التي أُطلقت فيها النبضة.

3- الموقع المطلق من أجهزة الاستشعار على سطح الأرض أو فوقها.

يُعدّ الليدار من أنظمة الاستشعار الفعالة التي تولد طاقة مباشرة نحو الهدف وتكشفها لاحقا حيث تنبعث منها نبضات الضوء (أي شعاع الليزر) وتكشف فيما بعد الضوء المنعكس. وتسمح هذه الخاصية بجمع بيانات الليدار ليلاً عندما يكون الهواء عادة أوضح والسماء تحتوي على حركة جوية أقل مما كانت عليه في النهار. في الواقع، يتم جمع معظم بيانات الليدار ليلاً. وعلى عكس الرادار، لا يمكن لليدار اختراق الغيوم والمطر، أو الضباب الكثيف ويجب أن يكون في الجو المعتدل.

يمكن لأدوات الليدار أن تقيس بسرعة سطح الأرض، بمعدلات أخذ عينات تزيد على 150 كيلوهرتز (أي 150000 نبضة في الثانية). والمنتج الناتج هو شبكة متباعدة كثيفة من نقاط الارتفاع ذات الإشعاع الجغرافي عالية الدقة التي يطلق عليها غالباً سحابة النقطة، التي يمكن استخدامها لتوليد تمثيل ثلاثي الأبعاد لسطح الأرض وخصائصه.

تعمل العديد من أنظمة الليدار في منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة من الطيف الكهرومغناطيسي، على الرغم من أن بعض أجهزة الاستشعار تعمل أيضاً في النطاق الأخضر لاختراق المياه والكشف عن ميزات القاع. ويمكن استخدام أنظمة الليدار هذه في المناطق ذات المياه الواضحة نسبياً لقياس الارتفاعات في قاع البحر. وعادة ما تكون الارتفاعات المشتقة من الليدار ذات دقة مطلقة تتراوح بين (15 - 30 سم) للبيانات القديمة و(10-20 سم) للحصول على بيانات أحدث.

أصبح الليدار طريقة أساسية لجمع بيانات الارتفاع الكثيفة والدقيقة جداً عبر المناظر الطبيعية ومناطق المياه الضحلة ومواقع المشاريع. ويُعدّ الليدار طريقة جديدة للحصول على معلومات جغرافية مكانية دقيقة ومباشرة عن الشكل والخصائص السطحية للأرض .وتتيح التطورات الأخيرة في نظم رسم الخرائط في الليدار للعلماء

وخبراء الخرائط دراسة البيئات الطبيعية والمبنية من خلال مجموعة واسعة من المقاييس ذات الدقة والمرونة بقدر أكبر من أي وقت مضى.

2.10.6– منصات الليدار:

أنظمة الليدار الطبوغرافية المحمولة جواً هي واحدة من أنظمة الليدار الأكثر شيوعاً المستخدمة لتوليد نماذج الارتفاع الرقمية للمناطق الكبيرة. أما بالنسبة للمناطق الأصغر، أو التي تحتاج إلى كثافة أعلى، يمكن لليدار أيضاً نشر أجهزة استشعار على الطائرات المروحية وعلى منصات أرضية ثابتة (أو مستندة إلى الماء) ومنصات متحركة كالسيارات والسفن.

وقد طوِّر الليدار لأول مرة كأداة أرضية ثابتة الموقع للدراسات المتعلقة بتكوين الغلاف الجوي، والهيكل، والسحب، والهباء الجوي، ولا يزال أداة قوية للمراقبة المناخية في جميع أنحاء العالم. وتقوم NOAA والمنظمات البحثية الأخرى بتشغيل هذه الأدوات لتعزيز فهمنا لتغير المناخ.

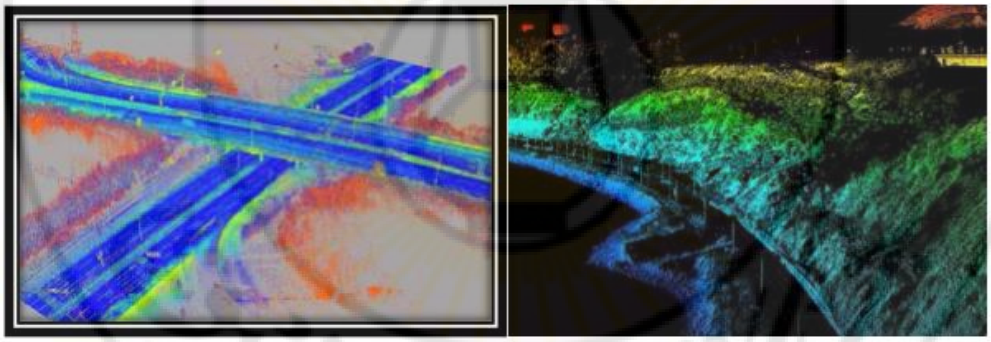
كما يتم تركيب أجهزة استشعار الليدار على حوامل ذات موقع ثابت وتستخدم لمسح أهداف محددة مثل الجسور والمباني والشواطئ. وتقوم أنظمة الليدار القائمة على ترايبود بإنتاج بيانات نقطة ذات دقة سنتيمترية، وكثيراً ما تستخدم لتطبيقات خرائط التضاريس المحلية التي تتطلب استقصاءات متكررة.

وتمكّن أنظمة الملاحة وتحديد المواقع الحديثة من استخدام منصات متنقلة تتواجد على المياه (السفن والقوارب والزوارق) ومنصات أرضية ثابتة ومتنقلة لجمع بيانات الليدار. وتتركز هذه الأنظمة عادة على المركبات الرياضية والمركبات ذات التضاريس الأرضية وقد تكون لها نطاقات استشعار إلى هدف أكبر من كيلومتر واحد (انظر **الشكل 126**). وتكون البيانات التي جُمعت من هذه المنصات دقيقة للغاية وتستخدم

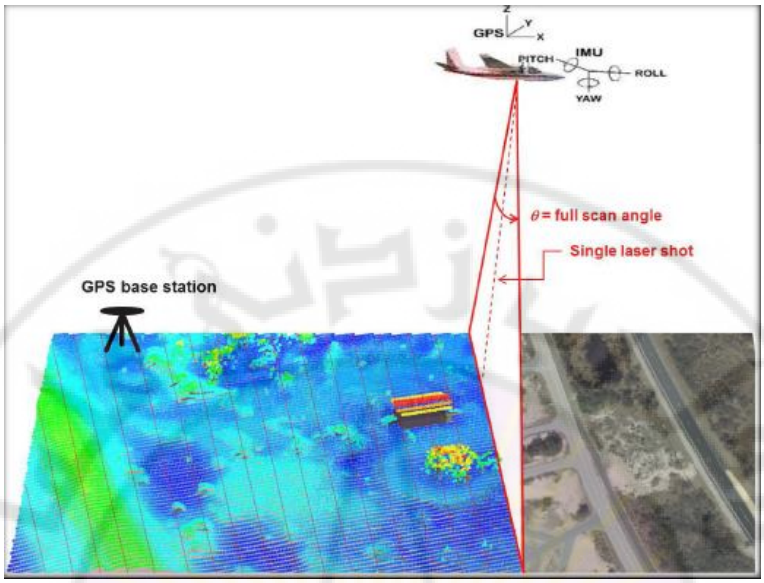
على نطاق واسع لرسم خريطة المناطق المنفصلة، بما في ذلك السكك الحديدية والطرق والمطارات والمباني وممرات المرافق والموانئ والشواطئ.

وتُعدّ الطائرات والمروحيات من أكثر المنصات شيوعاً وفعالية من حيث التكلفة للحصول على بيانات الليدار على مناطق واسعة ومستمرة. يُحصل على البيانات الليدار المحمولة جواً عن طريق تركيب نظام داخل الطائرة التي تحلق فوق المناطق المستهدفة (انظر **الشكل 127**).

ويمكن أن تغطي معظم المنصات المحمولة جواً حوالي 50 كم^2 في الساعة ولا تزال تنتج بيانات تلبي متطلبات التطبيقات التي تتطلب بيانات عالية الدقة. كما تُعدّ المنصات المحمولة جواً مثالية لجمع البيانات في المياه الضحلة الواضحة نسبياً، وفي تعيين المناطق الساحلية والمناطق القريبة من الشاطئ.



شكل (126) الليدار المحمول على منصات غير جوية جمعت من سيارة (يسار) وزورق (يمين)



شكل (127) رسم تخطيطي لنتائج مسح الليدار المحمول جواً نتج عنه خطوط متوازية من النقاط المقاسة (توجد أنماط مسح ضوئي أخرى لكن هذا النوع من المسح هو الأكثر شيوعاً)

3.10.6– بيانات الليدار وتقاناته:

الفكرة الأساسية لعمل الليدار قائمة على قياس الوقت الذي يستغرقه نبض الليزر للوصول إلى الظواهر (الأهداف) الموجودة في حيز جغرافي واحد والعودة إلى أجهزة الاستشعار، وتُحدّد المسافة باستخدام وقت السفر (الذهاب والإياب)، بالإضافة إلى زاوية الليزر، ومن ثم يتم التعرف على الظواهر الموجودة كلها ويتم عكسها على شكل بيانات ثلاثية أبعاد (الطول والعرض والارتفاع) مثال: أرض، شجرة، سيارة.

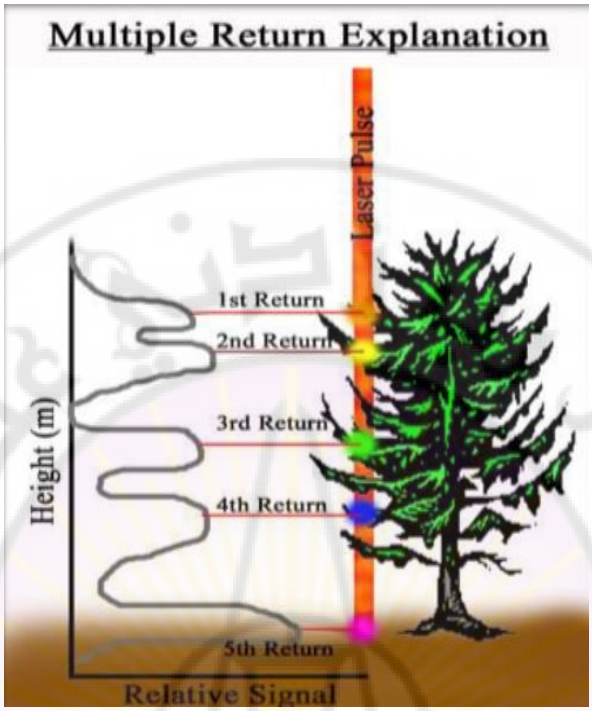
في الواقع، تُعدّ عملية الحصول على بيانات الليدار من العمليات الأكثر تعقيداً حيث إنّه على الطائرات التي تطير بسرعة تصل إلى 100 – 200 ميل في الساعة صعوداً وهبوطاً أن تلتقط بيانات بدقة مكانية تصل إلى بضعة سنتيمترات أو أقل عن طريق تتبع مئات الآلاف من نبضات الليدار في الثانية الواحدة.

ولحسن الحظ اجتمعت تكنولوجيات عدة ولا سيما النظام العالمي لتحديد المواقع (GNSS) والجيروسكوبات الدقيقة (Gyroscopes) لجعل هذه العملية ممكنة بأكبر

قدر من الدقة. وكانت التطورات الرئيسة في وحدات قياس المتجمّد Inertial Measuring Units (IMU) أو نظم الملاحة المتجمّدة Inertial Navigation Systems (INS) مفيدة في جعل تحديد المواقع بالضبط من الطائرة ممكن.

هذه الأنظمة هي قادرة على قياس الحركة في الاتجاهات جميعها واستثمار هذه القياسات داخل المركز. ومع ذلك، فهي ليست مثالية، وتفقد الدقة بعد وقت قصير، وتستخدم وحدة نظام تحديد المواقع العالمي (GNSS) المتطورة جداً، التي تسجل أنواعاً عدة من الإشارات من الأقمار الصناعية للنظام العالمي لتحديد المواقع، لتحديث أو إعادة تعيين (IMU) و (INS) كل ثانية أو نحو ذلك. حيث يتم تسجيل مواقع (GNSS) من قبل الطائرة وأيضاً في المحطة الأرضية، حيث توفر المحطة الأرضية عاملاً تصحيحياً لموقع (GNSS) الذي تسجله الطائرة.

بالمثل، تقدمت أنظمة الليدار بشكل كبير، حيث كانت الوحدات التجارية المبكرة قادرة على إرسال 10000 نبضة في الثانية (10 كيلوهرتز) وكانت كبيرة وضخمة. الأنظمة الأحدث هي أكثر إحكاماً وأخف وزناً وذات دقة زاوية أعلى ويمكنها معالجة ارتدادات ليزر متعددة في الهواء (أي تنبعث نبضات الليزر ثانية قبل تلقي الارتدادات من نبضات الليزر السابقة) مما يسمح بمعدلات نبض تزيد على 300000 نبضة في الثانية (300 كيلوهرتز). تكون أنظمة الارتداد التي يمكن أن تلتقط ما يصل إلى خمسة ارتدادات لكل نبضة متعددة، وهذا يمكن أن يزيد من كمية البيانات بنسبة 30% أو أكثر (100000 نبضة في الثانية أي تقريباً 130000 ارتداد في الثانية) مما يُتيح إمكانية النظر في هيكل ثلاثي الأبعاد للظواهر الموجودة على سطح الأرض مثل: الغابات (انظر **الشكل 128**).



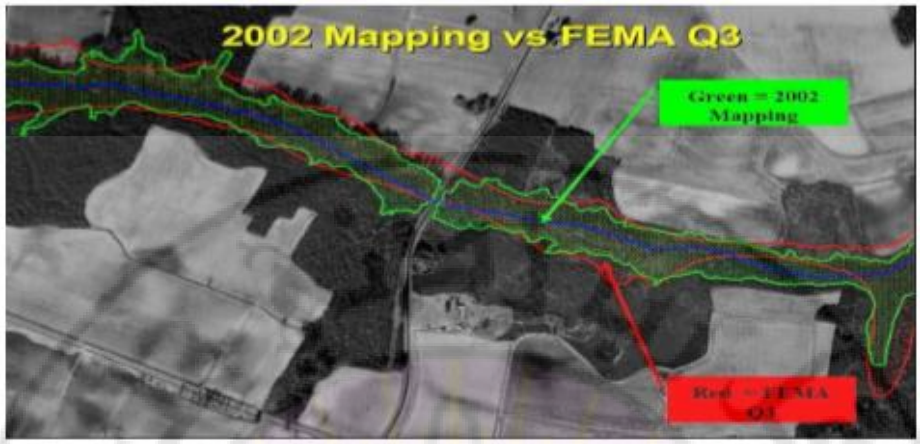
شكل (128): الارتدادات المتعددة لنبض ليزري واحد

4.10.6– تطبيقات الليدار:

يتميز الليدار بوصفه جزءاً من تقانات الاستشعار المتعددة بميزات عدة من أهمها: الدقة العالية، وكثافة النقطة العالية، ومناطق تغطية كبيرة، وقدرة المستخدمين على إعادة تشكيل المناطق بسرعة وكفاءة. وهذا ما يساعد على رسم خريطة التغييرات المنفصلة بدقة عالية جداً، وتغطية مساحات واسعة بشكل موحد ودقيق جداً، والحصول على نتائج سريعة. التطبيقات أدناه أمثلة على بعض الاستخدامات الشائعة لليدار.

أولاً: تحديث خرائط معدل التأمين على الفيضانات وإنشاؤها:

هذا التطبيق هو محرك رئيس في تطوير بيانات الليدار واستخدامها. وقُدّم الطلب إلى حد كبير عندما ضربت الأعاصير ولاية كارولينا الشمالية، وسرعان ما تبين أن مناطق الفيضانات الموجودة في الخرائط غير كافية (انظر **الشكل 129**).



شكل (129): استخدام السهول الفيضية المستمدة من الليدار لتعيين حدود الفيضانات على النقيض من حدود منطقة الفيضانات الفيدرالية لإدارة الطوارئ (FEMA)

ثانياً: دراسات الغابات والأشجار:

تُعدّ دراسة إدارة الأخشاب موضوعاً مكلفاً جداً ويستغرق وقتاً طويلاً وجهداً كبيراً في قياس الأشجار، وعادة ما تقاس عينة من الأشجار بعدد من المعامِلات وتُستخلص النتائج إحصائياً في أنحاء منطقة الحصاد جميعها.

ليتم تحديد مقدار الأخشاب يجب إجراء عمليات القياس على الأشجار، وقد استخدمت بيانات الليدار العالية الدقة في إعطاء بصمة صغيرة لحساب الأشجار وقياس ارتفاع الشجرة وعرض التاج وعمقه. ومن هذه القياسات، يمكن تقدير الحجم الدائم للأخشاب على أساس شجرة فردية.

ثالثاً: تخطيط خرائط الساحل:

رسم خرائط للمنطقة الساحلية تطبيق يسلط الضوء على استخدام بيانات الليدار جنباً إلى جنب مع شرائح نظم المعلومات الجغرافية لزيادة فائدة كل من مجموعات البيانات. حيث تتغير المناطق الساحلية بطريقة ديناميكية للغاية على فترات زمنية قصيرة جداً (مثل الموجات والمد والجزر والعواصف)، وتحتوي على العديد من الانحدارات الطبيعية التي تعتمد اعتماداً كبيراً على الارتفاع، وهي مكتظة بالسكان. ونتيجة لذلك،

يمكن أن تؤثر التغيرات السريعة في أعداد كبيرة من السكان والعادات، وكلاهما أصبح أقل تسامحاً مع التغيير (أي أن هناك قدرة أقل على التراجع).

وتوفر بيانات الليدار القدرة على قياس أحداث محددة فضلاً عن الاتجاهات الأطول أجلاً. وهذا يوفر معلومات يمكن تطبيقها على حلول الاستعادة الفورية للمناطق الحرجة، فضلاً عن التخطيط المستدام للحد من الآثار المستقبلية (انظر **الشكل 130**).

شكل (130): الدراسات الساحلية التي أجراها المسح الجيولوجي الأمريكي على جزيرة دوفين قبل إعصار كاترينا وبعده

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

فهرس مصطلحات الجزء الأول

المصطلح الإنكليزي	المصطلح العربي
A	
Absorbed Energy	الأشعة الممتصة
Absorption	الامتصاص
Active	فعال
Active Sensor	مشعر فعال
Active Microwave Instrument	جهاز ميكروي فعال
Acoustical energy	طاقة الأمواج الصوتية
Active System	النظام الفعال
Advanced Land (ALOS) Observing Satellite	القمر الصناعي ألوس
Advanced Space born Thermal and Reflection Radiometer (ASTER)	القمر آستر: راديومتر فضائي مطوّر لقياس الانعكاس والإشعاع
Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)	جهاز راديومتر مطوّر عالي الدقة
Advanced Visible And Near Infrared Radiometer (AVNIR-2)	جهاز راديومتر مطوّر
Aerial photography	التصوير الجوي
Airborne Radar Side Looking	رادار ذو الفتحة الجانبية
Altimeter	جهاز راداري مخصص لقياس ارتفاع

	الأمواج
Analog recorder	تسجيل متماثل
Arial photogrammetry	المساحة التصويرية الجوية
Arial Survey	المسح الجوي
Average Scale	متوسط المقياس
B	
Black body	الجسم الأسود
Bright variation	اختلاف شدة السطوع
Brightness Temperature	حرارة السطوع
Brown haze	الضباب البني
C	
Camouflage detecting film	فيلم التمويه والخداع
Cathode Ray	الأشعة المهبطية
Cartosat	القمر الصناعي الهندي كارتوسات
China Brasil Earth Resources Satellite (CBERS)	قمر صناعي برازيلي صيني
Collection	جمع
Conjugate- Principal Points	النقاط المتقابلة الرئيسة
Contrast	التباين
Corner Reflectors	عواكس زاوية
Cosmos	أقمار صناعية روسية
D	
Datum	مستوى الإسناد

Detection	كشف
Digital Elevation Model (DEM)	نموذج الارتفاع الرقمي
Detector	مستكشف
Dichroic grating	شبكة ثنائية اللون
Digital data	بيانات رقمية
Distortion	تشويه
E	
Ecosystem	النظام البيئي
Effective coverage	التغطية الفعالة
Emissivity	القدرة الإصدارية
Emitted from atmosphere	منبعث من الغلاف الجوي
Emitted from object	منبعث من الظاهرة
Edge Enhancement Filter	مرشح تحسين الحواف
Radiation Electromagnetic	الإشعاع الكهرومغناطيسي
Energy Interaction	تفاعل الطاقة
Energy Sources	مصادر الطاقة
Enhanced Thematic Mapper (ETM)	الماسح الغرضي المحسّن
Enhancement	تحسين
ERTS	الأقمار المخصصة لدراسة موارد سطح الأرض
European Remote Sensing Satellite (ERS)	القمر الصناعي الأوروبي

F	
Far Infrared	الأشعة تحت الحمراء البعيدة
Filter	المرشح
FormoSat	القمر الصناعي الصيني فورموسات
G	
Gama Rays	أشعة غاما
GeoEye	سلسلة أقمار أمريكية عالية الدقة المكانية
Geometric distortion	التشويه الهندسي
Glass filter	مرشح زجاجي
GOES	أقمار أمريكية لدراسة التغيرات المناخية
H	
High oblique photographs	تصوير شديد الميل
High Pass Filter	مرشح عالي التردد
High Resolution CCD Camera (HRCC)	آلة تصوير ذات دقة عالية
High Resolution Visible	قدرة تمييز مرئية عالية
High Resolution Visible (HRV1)	ماسح مرئي بتمييز عالي
Human vision	الرؤية البشرية
Hyperspectral	فائق الطيفية
I	
IFOV	حقل الرؤية اللحظي
IKONOS	قمر صناعي أمريكي بقدرة تمييز عالية
Image	صورة
Incident Energy	الطاقة الواردة

Indian Remote Sensing Satellite (IRS)	القمر الصناعي الهندي
Inertial Measuring Units (IMU)	وحدات قياس المتجمّد
Inertial Navigation Systems (INS)	نظم الملاحة المتجمّدة
Infra-red film	فيلم يصور بالأشعة تحت الحمراء
Infra-red rays	الأشعة تحت الحمراء
Infrared Multispectral Scanner (IRMSS)	ماسح متعدد الأطياف في المجال تحت الأحمر
Intervalometer	مؤقت المغلاق
J	
Japanese Earth Resources Satellite (JERS)	القمر الصناعي الياباني جيرس
L	
Land cover	غطاء الأرض
Land use	استعمالات الأراضي
Landsat	سلسلة أقمار صناعية أمريكية
Landscape	مصطلح هيئة الأرض
Large Format Camera	آلات تصوير كبيرة القياس
Leaf Area Index	مؤشر مساحة الورقة
Light Detection And Ranging	الليدار: قياس الارتفاع الليزري
Linear feature	السمات الخطية
Linear Imaging Self Scanning (LISS)	جهاز تصوير خطي ذاتي المسح
Local position	التوضع المكاني
Longitudinal Overlapping	التغطية أو التداخل الأمامي

Low Oblique Photographs	تصوير قليل الميل
M	
METEOSAT	قمر خاص بالدراسات الميترولوجية
Metric camera	آلة تصوير قياسية
Microwave Rays	الأشعة الميكروية
Microwave Sensing	أجهزة الاستشعار الميكروية
MicroWave Radiometer (MWR)	راديومتر ميكروي لقياس محتوى الماء في الغيوم
Mie Scattering	تبعثر مي
Mirror Stereoscope	منظار التجسيم ذو المرايا
MKF_6	آلة تصوير ألمانية الصنع
Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)	مستشعرات محمولة على القمر الصناعي Terra
MSS	ماسح متعدد الأطياف
Multi-lens camera	آلة تصوير متعددة العدسات
Multi Spectral (MSI) Imager	جهاز تصوير متعدد الأطياف
N	
Nadir line	نظير السمت
NASA	إدارة الطيران والفضاء الأمريكية
Near- bottom- sonar	سونار قريب من القاع
Near Infrared	الأشعة تحت الحمراء القريبة
Near- Surface Sonar	سونار قريب من السطح

NDVI	قرينة التغيرات النباتية
NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration	أقمار صناعية أمريكية مخصصة لدراسة الطقس
Normal angle camera	آلة تصوير ذات زوايا عادية
Nimbus	قمر خاص بالدراسات المناخية
O	
Ocean and Land Color Instrument (OLCI)	جهاز تصوير ملون للبحر واليابسة
Optics	عدسات
OrbView	قمر صناعي أمريكي عالي الدقة المكانية
P	
Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR)	جهاز رادار ذو فتحة جانبية يعمل في المجال L
Panchromatic Image	صورة بنكروماتية بالأبيض والأسود
Panchromatic Film	فيلم بنكروماتي أبيض وأسود
Panchromatic Remote sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM)	جهاز تصوير بنكروماتي
Panoramic camera	آلة تصوير بانورامية
Panoramic Distortion	تشويه بانورامي
Parallax Measuring device	جهاز قياس تغيير المنظر
Passive	غير فعال
Passive System	النظام غير الفعال
Phenology	الاختلاف في مظهر الأشجار وتكراره باختلاف المناخ

Photodiodes	صمامات ثنائية
Photogrammetry	المساحة التصويرية
Photographic Film	فيلم التصوير الفوتوغرافي
Pixel	عنصر الصورة
Platform Perturbations	التشويه الحاصل في المنصة
Pocket stereoscope	جهاز التجسيم الجيبي (الستيريوسكوب)
Positional distortion	تشويه موضعي
Principal point	النقطة الرئيسة
Prism	موشور
Processing Film	معالجة الفيلم
Push- broom system	نظام الكنس المتقدم
Q	
QuickBird	قمر صناعي أمريكي عالي الدقة المكانية
R	
RADAR Radio Detection And Ranging	جهاز الرادار
Radiation path	الممر الإشعاعي
RADARSAT	قمر كندي يحمل جهاز رادار
Radio wave	الأشعة الراديوية
Radiometer	جهاز قياس الطاقة الإشعاعية
Raylight scattering	تبعثر رايلي
Real Aperture Radar	رادار ذو الفتحة الحقيقية
Recording	تسجيل
Reflected energy	الأشعة المنعكسة

Reflected from surface	منعكس من السطح
Reflection	الانعكاس
Relief displacement	الإزاحة التضاريسية
Remote Sensing	الاستشعار عن بعد
Resolution	الدقة
Return Beam Vidicon (RBV)	آلات تصوير الفيديو ذات الحزمة المرتدة
S	
Scanner	ماسح
Scanning Mirror Stereoscope	المناظير المجسمة الماسحة ذات المرايا
Scaterometer	الأمواج المتأثرة بالرياح
Scattering	التبعثر
Scene center	مركز المشهد
Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR)	راديومتر لقياس حرارة البحر واليابسة
Sensibilty of Film	حساسية الفيلم
Sentinel	قمر صناعي أوروبي
Sensor	المشعر
Side overlapping	التغطية الجانبية
Singel-lens camera	آلة تصوير أحادية العدسة
Skylab	مركبة فضاء أمريكية
Slant Rang Distance	مسافة مجال الانحراف
Side Looking Airborne Radar (SLAR)	الرادار المحمول جواً ذو الفتحة الجانبية

Sonar	جهاز التصوير المائي
Sonograph	سونوغراف صور ملتقطة بالرادار
Sound Energy	الأشعة الصوتية
Soyuz	مركبة فضاء روسية
Spectral reflectance curve	منحنى الانعكاس الطيفي
Spectral Response	الاستجابة الطيفية
Spectral transmittance	نفاذية طيفية
Spectrometer	مطياف
Spectroradiometer	مطياف راديومتري
Spot	سلسلة أقمار صناعية فرنسية
Stereo interpretation	منظار التفسير
Stereoscope	المنظار المجسم
Stereoscopic Overlap	التغطية الستيريوسكوبية
Stereoscopic Parallax	التجسيم الناجم عن اختلاف الموقع
Stereoscopic vision	الرؤية المجسمة
Strip camera	آلة تصوير ذات شريط
Structur of film	بنية الفيلم
Subtractive Primaries	طرح الألوان الأساسية
Super wide angle	آلة تصوير ذات زوايا واسعة جداً
Synthetic Aperture Radar (SAR)	رادار ذو فتحة صنعية
T	
Target	الهدف

Terrestrial Photogrammetry	المساحة التصويرية الأرضية
Thermal capacity	السعة الحرارية
Thermal conductivity	الناقلية الحرارية
Thermal crossover	التقاطع الحراري
Thermal inertia	العطالة الحرارية
Thermal Infrared	الأشعة الحرارية
Thermal Scanner	الماسح الحراري
Tilt Displacement	الإزاحة الميلانية
TM	ماسح غرضي
TIROS	قمر صناعي خاص بالدراسات الميترولوجية
True color film	فيلم ملون بألوان حقيقية
U	
Ultra-violet Rays	الأشعة فوق البنفسجية
UTM	مسقط مركيتور المستعرض العالمي
V	
Vertical photographs	تصوير عمودي
Visible	مرئي
Visible Rays	أشعة مرئية
W	
Wave frequency	تردد الموجة
Wave velocity	سرعة الموجة
Wavelength	طول الموجة

White haze	الضباب الأبيض
Wide angle camera	آلة تصوير ذات زوايا واسعة
Wide-Field-Camera Imager (WFI)	آلة تصوير ذات حقل تصوير واسع
World View	سلسلة أقمار أمريكية عالية الدقة المكانية
X	
X- Rays	أشعة إكس

Damascus University

فهرس أشكال الجزء الأول

الرقم	العنوان	الصفحة
.1	مدينة بوسطن التقطت عام 1860	23
.2	مثال عن صورة فوتوغرافية من أفلام التصوير الجوي	26
.3	مثال عن صورة رقمية مؤلفة من شبكة من Pixels	27
.4	آلية عمل الاستشعار عن بعد	28
.5	مثال عن صور مأخوذة بمجالات طيفية عدة للمنطقة نفسها من الوطن العربي	30
.6	أسس عملية الاستشعار عن بعد	35
.7	الموجة الكهرومغناطيسية	37
.8	أنواع الموجات الكهرومغناطيسية وأطوالها	38
.9	اختلاف أطوال موجات الألوان في المجال المرئي	39
.10	النوافذ الجوية	42
.11	تفاعلات الطاقة مع الغلاف الجوي وبعض مظاهر الأرض	43
.12	درجة الانعكاس لبعض المظاهر الأرضية	45
.13	تفاعل الطاقة الكهرومغناطيسية مع سطح الأرض	46
.14	اختلاف الانعكاس على سطح الأرض حسب طبيعة السطح	48
.15	انعكاس كل من التربة والصخر والماء خلال 24 ساعة في المجال المرئي	50
.16	تغير درجة الانعكاس من أوراق البلوط خلال فترة النمو في المجال المرئي وتحت الأحمر القريب	50
.17	أنواع المشعرات حسب مصدر الطاقة	52
.18	مقطع عرضي في الفيلم	57
.19	آلة تصوير متعددة تحوي أربع عدسات ببعد محرقي 70 ملم	58

	تستخدم للتصوير البنكروماتي	
.20	صورة بنكروماتية (أبيض أسود) مقياسها 1:15000	59
.21	صورة في مجال الأشعة تحت الحمراء (أبيض وأسود)	61
.22	صورة جوية لوسط واشنطن بالأشعة تحت الحمراء (أبيض وأسود)	61
.23	مقطع عرضي في فيلم ملون بألوان حقيقية	62
.24	مقطع عرضي في فيلم ملون بألوان تحت حمراء	64
.25	آلة تصوير يدوية	65
.26	آلة تصوير أحادية العدسة	67
.27	الأجزاء الرئيسة لآلة التصوير	67
.28	آلة تصوير ذات اللقطة متعددة العدسات تحوي مرشحات زرقاء –خضراء، حمراء وتحت حمراء	71
.29	آلة تصوير متعددة اللقطات	71
.30	تصنيف الصور حسب ميلان محور العدسة	73
.31	a: صورة مائلة درجة الميلان بين 30 –60 درجة لمنطقة جبلية تقع جنوب شرق مسجد سليمان في إيران	75
	b: موزاييك جوي عمودي	76
.32	تحديد النقاط الرئيسة على الصورة	79
.33	التقاط الصور بشكل متتابع على خط الطيران	79
.34	تراكب الصور على طول خط الطيران	80
.35	التغطية الأمامية والجانبية في الصور المتلاحقة	80
.36	كيفية حساب التغطية الأمامية	81
.37	كيفية حساب التغطية الجانبية	82
.38	مقياس الصورة الجوية	84
.39	حساب مقياس صورة عمودية على أرض منبسطة	85
.40	علاقة البعد المحرقي بمقياس الصورة إذا تغير الارتفاع	87

.41	علاقة ارتفاع الطيران بمقياس الصورة إذا تغير البعد المحرقي	88
.42	كيفية حساب مقياس صورة جوية بدلالة خريطة طبوغرافية	89
.43	اختلاف المقياس على الصورة الجوية في مناطق مختلفة التضاريس	92
.44	الإزاحة التضاريسية ومقارنة بين المظاهر الأرضية عند إسقاطها على الخريطة والصورة الجوية	96
.45	الإزاحة الميلانية في الصور الجوية حسب زاوية النظر	102
.46	الإزاحة الميلانية وشكل المساحة المصورة في التصوير العمودي والمائل	103
.47	الإزاحة الميلانية وشكل شبكة الإحداثيات في حال التصوير العمودي والتصوير المائل	104
.48	صورة عمودية لموقع Watts Bar النووي قرب Kingston	105
.49	صورة مائلة للموقع السابق نفسه ولكن الانزياح التضاريسي واضح في هذه الصورة بسبب ابتعاد البرجين عن النقطة الرئيسة	106
.50	تأثير موقع الظاهرة من النقطة الرئيسة في الإزاحة التضاريسية في الصورة العمودية	107
.51	أثر الانزياح التضاريسي في ابتعاد قمة الظاهرة المرتفعة عن قاعدتها	108
.52	كيفية حساب الإزاحة التضاريسية	111
.53	زوج صور جوية متراكبة لتحقيق الرؤية المجسمة	113
.54	كيفية الرؤية المجسمة	114
.55	الستيريوسكوب الجيبي من شركة كارل زايس	114
.56	ستيريوسكوب ذو مرايا يسمح بالتكبير 6 مرات	115
.57	التجسيم الناتج عن اختلاف موقع النظر	116
.58	كيفية تحديد محاور خط الطيران لأزواج مجسمة من الصور المتتالية على طول خط الطيران	117
.59	مفتاح الاختبار	118
.60	منظار مجسم ماسح ذي مرايا	120

.61	جهاز تفسير مجسم مزود بجهاز ستيريومتر وبانتوغراف وقلم راسم	121
.62	جهاز تفسير مجسم مزود بستيريوسكوب وستيريومتر	122
.63	مكونات الماسح متعدد الأطياف	127
.64	آلية المسح في الماسح متعدد الأطياف	128
.65	صورة ملتقطة بوساطة الماسح الغرضي المحمول على لاندسات عام 1992 في مجال الأشعة المرئية في المجال الطيفي 0.6-0.7 ميكرومتر لمدينة كولن ومحيطها بمقياس 1:250000	130
.66	صورة ملتقطة بوساطة الماسح الغرضي المحمول على لاندسات عام 1992 لمدينة كولن ومحيطها في مجال الأشعة الحرارية ضمن المجال الطيفي 10-12 ميكرومتر بمقياس 1:250000 عام 1992	130
.67	صورة رادارية ملتقطة بوساطة القمر الصناعي ERS لمدينة كولن ومحيطها عام 1992 في مجال الأشعة الميكروية ضمن المجال الطيفي 6 سم بمقياس 1:250000	130
.68	منحنى إشعاع الجسم الأسود	131
.69	التغيرات اليومية لدرجات حرارة الإشعاع للترب والصخور والمياه خلال 24 ساعة	134
.70	صورتان حراريتان جويتان التقطتا في الليل والنهار لمنطقة (ميدلتون) التقطت الأولى الساعة 2.40 بعد الطهر والثانية 9.50 مساءً في 17 أيلول عام 1971	136
.71	الرادار ذو الفتحة الجانبية SLAR	139
.72	العلاقة بين مدى الانحراف و المدى الأرضي وارتفاع الطيران	140
.73	تأثير تضاريس سطح الأرض في الإزاحة في صور SLAR	143
.74	تأثير خشونة السطح وأشكال سطح الأرض في صور الرادار	144
.75	صورتان من SAR للمكان نفسه ملتقطتان في أطوال موجية مختلفة. الأولى ملتقطة بموجة قصيرة في المجالX بطول 9.55 GHz، والثانية ملتقطة بموجة طويلة في المجالB بطول 0.415	144

	GHz بمقياس 35000/1.	
.76	صور من SAR ملتقطة بالمجال L من جهات مختلفة	145
.77	مكونات الإشارة الميكروية غير الفعالة	147
.78	مكونات نظام التصوير الجانبي الصوتي	149
.79	صورة سونوغراف لساحل Oregon تشبه صورة SLAR	151
.80	أنواع مدارات الأقمار الصناعية	156
.81	صورة بالأشعة تحت الحمراء لإعصار إيزابيل ملتقطة بوساطة NOAA-15 في 18 أيلول 2003	159
.82	المخطط الزمني لإطلاق أقمار سلسلة لاندسات	160
.83	القمر الصناعي لاندسات 1	162
.84	الحركة اليومية للاتدسات 1.2.3	162
.85	مدار قمري لاندسات 4 و 5 المتزامن مع الشمس	165
.86	المسافة بين المسارات المتجاورة في لاندسات 4.5	165
.87	أوقات تغطية المسارات المتجاورة للاندسات 4.5	166
.88	صور لجزء من مدينة برلين بمقياس 1:50000	171
.89	القمر الصناعي لاندسات 7 والمواسح التي يحملها	172
.90	مكونات القمر لاندسات-7	172
.91	القمر الصناعي سبوت-1	174
.92	المخطط الزمني لإطلاق أقمار سلسلة سبوت	175
.93	صورة بنكروماتية للخليج العربي ملتقطة بوساطة سبوت- 2 بقدرة تمييز 10 متراً	175
.94	طريقة التقاط الصور بوساطة القمر سبوت	177
.95	صورة ملتقطة بوساطة سبوت-5 لمدينة شنغهاي في الصين في شهر تشرين الثاني بقدرة تمييز 2.5 متراً	180
.96	أول صورة فضائية للقمر سبوت-6 لجزيرة بورا بورا البولونية بعد	181

	بضعة أيام من إطلاقه بدقة تمييز 1,5 متراً فوق مساحة 60×60 كم	
.97	فضائية لمدينة سيدني مأخوذة بالقمر سبوت7بعد ثلاثة أيام من إطلاقه عام 2014	181
.98	بحيرة الأسد ملتقطة بوساطة القمر الهندي IRS-ILSS عام 2007 في المجالات الطيفية 2.3.4 بقدرة تمييز 24 متراً	184
.99	جزء من سلطنة عمان التقط بوساطة IRS بقدرة تمييز 5.8 متراً	184
.100	القمر الأوروبي ERS-2 والأجهزة التي يحملها	186
.101	صورة لمدغشقر ملتقطة من خلال القمر الصناعي الياباني JERS عام 1997	188
.102	صورة لجزر فيجي ملتقطة بوساطة القمر الصناعي OrbView-3 عام 2004 بقدرة تمييز مكانية 4 متراً	189
.103	صورة ملتقطة لبحيرة الأسد بوساطة المشعر آستر عام 2006 وبقدرة تمييز مكانية 30 متراً	193
.104	صورة ملتقطة من القمر IKONOS-2 للستاد الرياضي الجديد في مدينة دينفر في الولايات المتحدة الأمريكية بتاريخ 2001/8/19 بقدرة تمييز مكانية 1متراً	194
.105	مدينة دبي ملتقطة عام 2000 بوساطة القمر الصناعيIKONOS بقدرة تمييز 1 متراً	195
.106	أهرامات الجيزة ملتقطة بوساطة القمر Quick Bird عام 2002 بقدرة تمييز 2,6 متراً	196
.107	صورة فضائية لجنوب أمريكا ملتقطة بوساطة القمر CBERS-2 بوساطة آلة تصوير ذات حقل تصوير واسع WFI بقدرة تمييز مكانية 260×260 متراً	199
.108	صورة لجبل طارق ملتقطة بوساطة القمر FormoSat-2 بآلة تصوير بنكروماتي بقدرة تمييز 2 متراً	201

.109	صور FormoSat-2 لمنطقة واتاري في الساحل الشمالي الشرقي لليابان التي ضربها زلزال بشدة 9 في 11 آذار 2011 قبل الكارثة إلى اليسار وفي 12 آذار 2011 بعد الكارثة على اليمين	201
.110	صورة ملتقطة بآلة تصوير بنكروماتية محمولة على متن 2– Cartosat عام 2006 بقدرة تمييز 80 سم	203
.111	صورة لجزء من مدينة سان بطرسبرغ في روسيا ملتقطة بآلة تصوير بنكروماتية من القمر Alos عام 2009 بقدرة تمييز 2.5 متراً	205
.112	صورة لمنطقة Annir في اليابان ملتقطة من خلال القمر Alos عام 2007 بوساطة الماسح AVNIR-2 بقدرة تمييز 10 متراً	206
.113	صورة ثلاثية الأبعاد تبين جبل Fuji في اليابان ملتقطة بوساطة الماسح الراداري SAR عام 2007 بقدرة تمييز 100 متراً	207
.114	جزء من مدينة هيوستن ملتقطة بوساطة World View-1 في الثاني من تشرين الأول 2007 بقدرة تمييز 0,46 متراً	209
.115	صورة لبرج بيزا المائل في إيطاليا ملتقطة بوساطة World View-4 في 2017 /3/28	209
.116	صورة لسد هوفر في الولايات المتحدة المريكية ملتقطة بوساطة القمر GeoEye1 في 2009/1/10 بقدرة تمييز 40 سم	211
.117	مرئية رادارية (SAR) لبحيرة غاردا في إيطاليا ملتقطة بوساطة القمر Sentinel-1 في 3 تموز 2017	212
.118	صورة لمرفأ مدينة برنديسي جنوب إيطاليا ملتقطة بوساطة القمر Sentinel-2B في 15 آذار 2017 بقدرة تمييز مكانية 10 متر	213
.119	صور ملتقطة بآلات تصوير روسية مختلفة	217
.120	تطبيق مؤشر (NDVI) على النبات السليم والمصاب	229
.121	صورة جوية منخفضة الزاوية من سكاي لاب 4، شرق ايداهو وشمال غربي وايومينغ (تبدو فيها حدائق بيلوستون وغراند تيتون الوطنية) مقياس الصورة حوالي 1: 50000000	254

.122	صورة لفيضان كندا عام 1997 في المجال تحت الأحمر الحراري	259
.123	صورة لمياه فيضان كندا تحيط بلدة موريس	260
.124	موزاييك لثلاث صور ملتقطة بالقمر الصناعي لاندسات لفيضان المسيسيبي	261
.125	مخطط مراحل وضع الخرائط بوساطة معطيات الاستشعار عن بعد	279
.126	الليدار المحمول على منصات غير جوية جُمعت من سيارة (يسار) وزورق (يمين)	298
.127	رسم تخطيطي لنتائج مسح الليدار المحمول جواً نتج عنه خطوط متوازية من النقاط المقاسة	299
.128	الارتدادات المتعددة لنبض ليزري واحد	301
.129	استخدام السهول الفيضية المستمدة من الليدار لتعيين حدود الفيضانات على النقيض من حدود منطقة الفيضانات الفيدرالية لإدارة الطوارئ (FEMA)	302
.130	الدراسات الساحلية التي أجراها المسح الجيولوجي الأمريكي على جزيرة دوفين قبل إعصار كاترينا وبعده	303

فهرس جداول الجزء الأول

الرقم	عنوان الجدول	الصفحة
.1	كيفية انعكاس بعض المظاهر على الصور البنكروماتية العادية وصور الأشعة تحت الحمراء	65
.2	بعض أنواع آلات التصوير المستخدمة على متن الأقمار الصناعية وخصائصها	68
.3	أنواع آلات التصوير ذات اللقطة أحادية العدسة وخصائصها	74
.4	القدرة الإصدارية لبعض مظاهر الأرض	134
.5	المجالات الطيفية وأطوال الموجات المستخدمة وترددها	141
.6	خشونة السطح ضمن ثلاثة زوايا لورود الأشعة في ثلاثة مجالات طيفية	143
.7	خصائص الأقمار الصناعية التي حملت أنظمة الرادار	146
.8	لمحة عن أقمار NOAA وفق البرامج الفضائية لوكالة ناسا	158
.9	الخصائص الفنية لأقمار لاندسات من 1-7	170
.10	التغطية الجانبية في كل خط مسح للقمر الصناعي لاندسات 7	173
.11	الخصائص الطيفية والمكانية للقمر لاندسات-8	173
.12	الخصائص الفنية للقمر سبوت 1و2و3	176
.13	خصائص الأقمار الصناعية الفرنسية سبوت من 1-5	179
.14	خصائص بعض الأجهزة التي حُملت على أقمار آيرس الهندية	183
.15	خصائص القمر الصناعي الياباني JERS	187
.16	المشعرات المحملة على أقمار OrbView	190
.17	خصائص المجالات الطيفية في آستر	192

.18	خصائص بعض الأقمار الصناعية التي تتميز بقدرة تمييز عالية	197
.19	خصائص القمر الهندي كارتوسات 1 و2	203
.20	خصائص القمر جيو آي 1 و2	211
.21	خصائص المجالات الطيفية للقمر Sentinel-2	214
.22	المشعرات المحملة على أقمار Sentinel	216
.23	خصائص بعض آلات التصوير الروسية	218
.24	مقارنة بين الانعكاس الطيفي للنباتات السليمة، والمصابة بالصدأ البني خلال موسم النمو (2009/2008)	225
.25	نسبة الانعكاس المئوي للغطاء الثلجي	266

مراجع الجزء الأول

المراجع العربية

1. **توماس، م ليلسلند ت رالف كيفر** : الاستشعار عن بعد وتفسير المرئيات، ترجمة حسن خاروف، المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر بدمشق،1994 .
2. **حبش، فوزي**: المعالجة الرقمية للصور الفضائية، مجلة الاستشعار عن بعد، العدد العاشر. الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، دمشق، 1998
3. **حمدي، وسام**، الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، المركز الليبي للاستشعار عن بعد وعلوم الفضاء، بنغازي، ليبيا.
4. **الداغستاني، نبيل الله**: الاستشعار عن بعد (الأساسيات والتطبيقات)، دار المناهج، عمان، الأردن، 2002.
5. **داوود، جمعة محمد**: أسس وتطبيقات الاستشعار عن بعد، القاهرة، جمهورية مصر العربية، 2015
6. **الديب، محمد محمود إبراهيم**: جغرافية الزراعة (تحليل في التنظيم المكاني). مكتبة الأنجلو المصرية، جامعة عين شمس، كلية الآداب، قسم الجغرافية، مصر، 1995.
7. **الصالح، محمد عبد الله**: مرئية الاستشعار عن بعد جمع بياناتها وتحليلها، جامعة الملك سعود، 1992.
8. **طربوش، أمين**: الاستشعار عن بعد، منشورات جامعة دمشق ن 1987.
9. **عاشور، محمود** : أسس علم الخرائط، دار القلم للنشر والتوزيع، الإمارات العربية المتحدة، 1998.
10. **عبده، وسام الدين محمد**، مقدمة إلى الاستشعار عن بعد وتطبيقاته، مكتبة المتنبي، الدمام، المملكة العربية السعودية، 2014

11. **العنقري، خالد:** الاستشعار عن بعد وتطبيقاته المكانية، دار المريخ، الرياض، المملكة العربية السعودية، 1986.
12. **عيد، صفية:** الاستشعار عن بعد والتصوير الجوي، منشورات جامعة دمشق،2001.
13. **فرحان، عيسى** : الاستشعار عن بعد تطبيقاته، عمان، الأردن، 1987.
14. **قضماني، مروان** : المنصات الجديدة للاستشعار عن بعد، مجلة الاستشعار عن بعد، العدد الثامن، الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، دمشق، 1996.
15. **لولو، عبد الرحيم،** نظم تصنيف استعمالات الأراضي المستخدمة في الاستشعار عن بعد. مجلة الاستشعار عن بعد. العدد الحادي عشر، 1999.
16. **المحمد، هيفاء أحمد، البلبيسي، حسام هشام، أبو سمور، حسن يوسف.** كشف وتحليل التغير في الغطاء النباتي باستخدام المؤشرات النباتية الطيفية. دراسات، العلوم الإنسانية والاجتماعية، المجلد 45، العدد 1، قسم الجغرافية، كلية الآداب، الجامعة الأردنية. 2018.
17. **محمد عبد الهادي، عبد رب النبي:** مرجع الاستشعار عن بعد (علم وتطبيق) بستان المعرفة للنشر، جامعة الإسكندرية، مصر، 2000.
18. **محلي، ساطع:** المواصلات الكونية وصور الأرض والكواكب، دمشق، 1972.

المراجع الأجنبية

1. **Alders ,H,J,L**:Basic Principles of Photogrammetry ,I.T.C, 1973.
2. **Albertz,Joergen**: Einführung in die Fernerkundung , Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt. Germany, 2001.
3. **Albertz Joerg**: Grundlagen der Interpretation von Luft –und Satellitenbilder ,Wissenschaftliche Buchgesellschaft , Darmstadt, Germany. 1991.
4. **Andrew,JR**: a forest inventory of Ceylon . Canada. 1961.
5. **Anderson.R.K**: the use of Satellite Pictures in Weather Analysis and Forcasting in WMO .
6. **Aronoff.Stan**: Remote Sensing for GIS Mangers, First edition, American Society of Photogrammetry.2005.
7. **Autorenkollektiv**, Brockhaus a b c Kartenkunde ,VEB.F.A .Brockhaus Verlag ,1895.
8. **Barthel.H**, Geofernerkundung, VEB. Hermann Haack, Gotha. 1985.
9. **Bauman,H**: Forstliche Luftbild interpretation Baden Wuertenberg ,1985.
10. **Blaschke, Thomas**:Fernerkundung Und GIS.Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg . Germany.2002.
11. **Bormann,P**:Erdfernerkundung. veröffentlichung des Zentralinstitus für Physik der Erde Nr. 65. Potsdam .1980.
12. **Borsin.H:** Ozeanologie - Lehrheft -9- Geofernerkundung Dresden 1983.

13. **Brosin,H.J&U.H.Neumeister**: Untersuchung über die Eisverhaltnins in der Ostsee in Winter,1986.
14. **Eugene, Thomas and Lennis,Graydon:** Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation of Aerial Photographys,Fifth edition. Pearson Education ,Prentice Hall ,Upper Saddle River .New Jersey,USA,1992.
15. **Every &Berlin** : Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation, Fifth Edition, Prentice Hall, New Jersy ,1992.
16. **Frey.L.J&Kroener**: Information über Möglichkeiten der Nutzung von aerokosmischen Aufnahmen fuer Hersellung von kartengrundlagen der thematischen Kartography , Potsdam,1978.
17. **Gates, DM**:Physical and Physiological Properties of plants ,In. Remote Sensing, National Academy of Sciences, Washington 1970.
18. **Hildebrandt,G**:100 Jahe forsliche Luftbildaufnahme, 1987.
19. **Geofernerkundung** : VEB Hermann Haack, Gotha,1985.
20. **Jensen,John R**: Remote Sensing of the Environment, An Earth Resource Perspective, Prentice Hall, series in Geographic Information science, Keith C.Clarke, Series Editor , Printed in the United States of America , 2000.
21. **Klug**. J. Meteorogie - Lehrheft -8- Geofernerkundung Dresden. 1983
22. **Kowal,A.L&Dessinow**:In der Weltraum zum Nutzen der Menschheit, Verlag ,Progress, Moskau,1987.
23. **Kroente,R**: Daten der Ferenerkundung im Informations-system der Geographie, Leipzig, 1985.
24. **Lenco,M**: Remote sensing and natural resources in Nature and Resource, 1985.
25. **Loeffer,E:** Geography und Fererkundung .B.G.Teubener Stuttgart,1994.

26. Manual of Photogrammetry:American Socity of Phogrammetry .3.rd,edition 1980.
27. Mather,M.Paul: Computer Processing of Remotely Sensed Image, An Introduction, Third Edition, John Willy& Sons.Ltd.2004.
28. Miller,v.c: Photogeology. New York .1961.
29. NOAA : Lidar 101 ‹An Introduction to Lidar Technology ‹Data‹ and Applications. Coastal Services Center.
30. Paul ,M,Mather: Computer Processing of Remotly Sensed Images ,An Interoduction third Edition, John Willy& Sons, Hd , 2004.
31. Robinson.A: Elements of Cartography .John Willy& Sons. 1995.
32. Sabins ,Floyd . F:Remote Sensing . Principles and Interpretation Print , University of California. Los Angeles,1996.
33. Schneider,S: Luftbild und Luftinterpretation, Berlin. New York.1974.
34. Scholtz ,E&Jänkel.u.a:Einführung in der Kartographie und Luftbildinterpretation,VEB,Herman Haack Gotha,1983.
35. Vögtle& Baehr: Digitale Bildverarbeitung. Anwendung in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung , Wichmann Verlag, Heidelberg, 1998.
36. Walsh, Michael J.‹Remote Sensing‹ department of the army‹ US Army Cropes of engineers, 2003.
37. Welzer.W: Luftbilder im Militärwissen. Militärverlag der DDR,1985.
38. Wolf, Paul: Elements of photogrammetry, New York, M. Graw-ltill Boock,1974. and 1985.

WEB SITES

- https://www.nesdis.noaa.gov
- http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov
- www.earthobservatory.nasa.gov

Damascus University

الجزء الثاني

نظم المعلومات الجغرافية

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

مفهوم نظم المعلومات الجغرافية

وعلاقتها بالعلوم الأخرى

1.1– مقدمة

2.1– مفهوم نظم المعلومات الجغرافية

3.1– علاقة نظم المعلومات الجغرافية بالأنظمة الأخرى

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الأول: مفهوم نظم المعلومات الجغرافية وعلاقتها بالعلوم الأخرى

1.1- مقدمة

أصبح عصر المعلومات عصراً ملحاً في الوقت الحاضر الذي تتزايد فيه أعداد السكان بشكلٍ مستمرٍ وتتزايد فيه أدوات تلويث البيئة ووسائلها وتقل فيه الموارد الطبيعية الأساسية بل نضب الكثير منها في أماكن كثيرة من العالم. هذا كله يتطلب معلومات دقيقة تساعد في تحسين معيشة الإنسان لذلك فإن عصر المعلومات تفرضه الحاجة الملحة للإنسان الذي بدأ يهتم بالمعلومة ويحللها، ويحاول استغلالها والاستفادة منها.

ومن ثمّ ظهر العديد من أنظمة المعلومات التي تساعد في تحليل هذا الكم الهائل من المعلومات ومنها نظم المعلومات الجغرافية، لكن لابد من تمييزها من النظم التي تتشابه معها وهي:

- **نظم المعلومات** قديمة قدم معرفة الإنسان لأعمال الكتابة والتصنيف لمدخراته وجدولة ديونه (وضعها في جداول) أو أشكال بسيطة تتناسب مع تفكيره في ذلك الوقت.
- **قواعد البيانات** لا تحتاج إلى معرفة المكان الجغرافي لهذه المعلومات مثال قواعد البيانات الخاصة بالمرور ودوائر النفوس وغيرها.
- **أنظمة المعلومات الجغرافية** قديمة أيضاً قدم معرفة الإنسان لرسم مظاهر الأرض، وكتابة بعض المعلومات على المظاهر المرسومة أي ربطها بالمكان أي إنها بدأت مع رسم الخرائط يدوياً وتلوينها وتطورت بتطور التقانات الحديثة حتى وصلت إلى ما وصلت إليه في الوقت الحاضر .

2.1- مفهوم نظم المعلومات الجغرافية

تتعدد مفاهيم نظم المعلومات الجغرافية وتتنوع بتنوع تطبيقاتها ومستخدميها والعاملين فيها؛ لذلك من الصعب إيجاد مفهوم وافٍ لها، ولكن يمكن أن نورد بعض هذه المفاهيم على سبيل المثال لا الحصر:

1 - **تُعرف نظم المعلومات الجغرافية** (GIS) على أنها نظام يعتمد على الحاسوب في إدخال البيانات الرقمية وتخزينها وتحويلها وتحليلها، و تمثيل البيانات المكانية. على الرغم من تحديد مفهوم البيانات المكانية أحياناً على أنها خرائط (كخرائط استعمالات الأرض، خرائط التربة)، يتضمن هذا المفهوم أيضاً الصور الفضائية و الجوية، والمواقع التي تُلتقط البيانات منها (كمواقع هطول الأمطار)، أو بيانات وصفية مرتبطة بمناطق جغرافية (كبيانات الإحصاءات السكانية).

لكن البعض لا يتفق مع هذا المفهوم، ونجد لدى هؤلاء في الوقت نفسه مفاهيم تخصهم وتختلف تبعاً لاهتماماتهم و احتياجاتهم، و بهذا فإن نظم المعلومات الجغرافية (GIS) قد تعني العديد من المفاهيم للعديد من المختصين (1)[20].

2- أما المفهوم الذي حددته هيئة التطوير و التعاون مع الهيئات الفدرالية في الولايات المتحدة الأمريكية عام 1988 (U.S. Federal Interagency Coordinating Committee) : فهو "نظم المعلومات الجغرافية (GIS): نظام حاسوبي مؤلف من معدات (المكونات الصلبة) (Hardware)، وبرمجيات (المكونات اللينة) (Software) وإجراءات صممت لتدعم إدارة القرارات الحاصلة، فتقوم بحفظها ومعالجتها، وتحليلها وتعديلها، ومن ثم القيام بتمثيلها بالاعتماد على بيانات مرجعة مكانياً قادرة على حل المخططات المعقدة وإدارة مشاكلها"(2).[21]

[20] J.Ronald Eastman, Michele Fulk, and James Toledano, & others. "The GIS Handbook". Calrk University& Arizona University. Washington, D.C. 1993. p1.

[21] Arthur Robinson, "Elements of Cartography, Washington, 1999.

كما يمكن القول إن نظم المعلومات الجغرافية (GIS) نظام فريد صمم لإدخال طبقات من البيانات الجغرافية وتخزينها واسترجاعها ومعالجتها وتحليلها، لإنتاج معلومات مفسرة. أما حسب Marble (1990) يجب على نظام المعلومات الجغرافية (GIS) أن يكون قادراً على إنشاء التقارير والخرائط. كما ويمكن أن تتضمن قاعدة بيانات الـ (GIS) صوراً حاسوبية، وخرائط ورقية، وبيانات إحصائية، أو أية بيانات أخرى يمكن استخدامها في مشروع ما. كذلك فإن المصطلح (GIS) يستخدم بشكل شائع لوصف مجموعة البرامج (Software Packages). فالـ(GIS) الحقيقي يتضمن الكادر المتعلم (المحترف) وبرنامجاً تدريبياً، وميزانية، وتسويقاً، وأجهزة، وبيانات، وبرمجيات (Walker and Miller 1990).

و يمكن استخدام تقنية الـ (GIS) في أي مجال يتعلق بالجغرافية، وذلك بدءاً من هندسة المنظومة الطبيعية (Landscape Architecture)، إلى إدارة الموارد الطبيعية، إلى إيجاد أفضل مسار لشق طريق مواصلات .

3- **نظم المعلومات الجغرافية** حسب مؤسسة إيسري ESRI [22] عبارة عن مجموعة منظمة ومرتبة، مكونة من أجهزة الحاسوب الآلي والبرامج والمعلومات الجغرافية، والكادر البشري المدرب، صممت بكفاءة عالية لجمع المعلومات ورصدها وتخزينها واسترجاعها ومعالجتها وتحديثها وتحليلها وعرضها بأشكال مختلفة لموقع معين من سطح الأرض.

4- **نظم المعلومات الجغرافية** هي بنوك معلومات لجمع المعلومات الجغرافية وتخزينها آلياً ثم تقوم بتحليلها ومعالجتها بوساطة برامج للحصول على نتيجة نهائية على شكل رسومات بيانية أو جداول أو تقارير أو مجسمات.

5- هي تعليمات تهتم بالخرائط التفصيلية التي تُمول من قبل الحكومات والبلديات والأقسام الإدارية الكبرى.

[22] ESRI: Environment Systems Research Institute , Redland , California , USA

6- هي نظم تدعم السياسة والإداريين للوصول إلى قرارات متوازنة فيما يتعلق بالموارد البشرية.

7- هي نظم شاملة تجمع المعلومات ذات العلاقة بالإحداثيات الأرضية وتخزنها وتعالجها وتحللها وتعرضها.

8- **النظام System ويُرمز له بالحرف S**: بشكلٍ عام هو مجموعة عناصر مستقلة نُظّمت لتعمل بصورة متحدة لإنجاز هدف معين أو محدد. والنظام الفني في مصطلح نظام المعلومات الجغرافية هو مجموعة الحاسوب الآلي وملحقاتها والبرامج والتطبيقات والطاقات البشرية والمتخصصين والإدارة والإشراف والتشغيل، ووضع الطرق والأساليب لخدمة المستخدم وتطوير النظام.

المعلومات Information **ويُرمز لها بالحرف I** المعلومات هي ناتج أو إخراج البيانات التي تمت معالجتها والتي تُستخرج من كمٍ هائلٍ من البيانات ذات الصلة بالموضوع. وتُستخدم للمساعدة في التخطيط وصنع القرار.

جغرافية Geographic **ويُرمز لها بالحرف G** ويقصد به علاقة الظاهرة الجغرافية بمفهوم المصطلح وهذا يتضح من خلال ما يلي :

- وصف المظاهر الجغرافية من حيث الموقع المكاني
- وصف البيئة المحيطة بالمظاهر الطبيعية والبشرية والاقتصادية
- عرض المعلومات الجغرافية.

أسباب اختلاف هذه التعريفات يعود إلى الأسباب الآتية:

- اختلاف الخلفية العلمية لواضعيها ومستخدميها
- حداثة هذه النظم مقارنة بالعلوم الأخرى
- التطور النوعي للحاسبات والمعلومات .

3.1– علاقة نظم المعلومات الجغرافية بالأنظمة الأخرى

تُعدّ نظم المعلومات الجغرافية نتاجاً مُتطوراً لأنظمة ومفاهيم معلوماتية أخرى وهي ليست بعيدة عن الأنظمة الأخرى بل استفادت منها كثيراً ولكنها تميزت منها بإمكانياتها العالية في التحليل المكاني الذي يُعدّ الميزة الأساسية والمهمة لها. على الرغم من تشابه قدرة بعض الأنظمة الأخرى مع قدرات نظم المعلومات الجغرافية إلا أنّ نظم المعلومات الجغرافية تميزت بقدرات تحليلية مكانية عالية تساعد صناع القرار في اتخاذ القرارات السليمة وإيجاد الحلول المناسبة للعديد من القضايا المختلفة.

1.3.1– علاقة الكارتوغرافية بنظم المعلومات الجغرافية (Cartography & GIS):

تُعدّ الخرائط المفتاح الرئيس في نظم المعلومات الجغرافية (GIS) إنّ نظم المعلومات الجغرافية لها دورٌ أساسيٌ في علم الخرائط المعاصرة (Modern Cartography) فمعظم البيانات المستخدمة في نظم المعلومات الجغرافية يُحصل عليها من عمليات الترقيم (Digitization) أو من المسح بوساطة الماسح الضوئي (Scanning) للخرائط الموجودة. كما أن مخرجات البيانات من نظام الـ(GIS) هي مخرجات كارتوغرافية في معظمها. إلا أن هناك اختلافاً بين برمجيات نظم المعلومات التي يتم بوساطتها إنتاج الخرائط، وبرمجيات نظم المعلومات الجغرافية.

2.3.1– علاقة أنظمة كارتوغرافية الحاسوب بنظم المعلومات الجغرافية: (Computer Cartography)

يخلط الكثيرون بين تقانة نظم المعلومات الجغرافية وتقانة كارتوغرافية الحاسوب ويعود هذا الخلط إلى استخدام برمجيات نظم المعلومات الجغرافية في إعداد خرائط رقمية من بيانات يتم الحصول عليها من خرائط قديمة أو صور جوية فضائية وقياسات حقلية

أو من أجهزة نظام تحديد المواقع العالمي GPS ثم تُخزن في بيئة رقمية داخل الحاسوب لإعداد خريطة رقمية، أما نظم المعلومات فتشمل كل ما سبق إضافة إلى المعالجة والتحليل إحصائياً ومكانياً بهدف دراسة ظاهرة معينة في مكان جغرافي محدد للوصول إلى فهم شكل توزع هذه الظاهرة مكانياً للوصول إلى حلها مستقبلاً.

على سبيل المثال إذا كان الهدف وضع خريطة لتوزع المدارس في مدينة دمشق يقوم المستخدم بتحديد مواقع هذه المدارس بوساطة GPS ثم تُجمع البيانات التي تصف هذه المدارس من حيث مساحاتها، وعدد الشعب الصفية وعدد التلاميذ والمدرسين وغيرها من البيانات ومن ثم تُعدُّ خريطة توزع المدارس في مدينة دمشق . أما لو تمت هذه الدراسة بوساطة نظم المعلومات الجغرافية فسيكون الهدف هو معرفة نمط توزع هذه المدارس ضمن مدينة دمشق، هل هو منتظم؟ أو متجمع ضمن مكان محدد أو عشوائي؟ وهل تغطي هذه المدارس أحياء المدينة كلها؟ هل هي كافية؟ وهل هناك حاجة لإنشاء مدارس جديدة ؟ ثم يقوم بالبحث عن المكان المناسب لإقامة المدرسة وفق شروط هندسية وبيئية واجتماعية وغيرها.

أما لو كانت البرمجية المستخدمة متخصصة بإنتاج الخرائط فستُركز على الترميز والرسم الآلي ويمكن ربطها مع قواعد البيانات، والاستفادة من هذه القواعد بالتصنيف والترميز ولكن قدرتها التحليلية محدودة بالإضافة إلى أنها لا تملك تخزيناً أو استخداماً للعلاقات الطبولوجية.

4.3.1- علاقة أنظمة الرسم بمساعدة الحاسوب ونظم المعلومات الجغرافية: (CAD System)

ظهرت هذا الأنظمة للمساعدة في الرسم الهندسي إلا أن إمكاناتها في ربط العناصر المكانية (الرسومية) بقواعد البيانات الوصفية محدود جداً، ولا يوجد تفاعل بين قواعد البيانات والعناصر الرسومية التي تمثل المظاهر الجغرافية حتى لو تحقق شرط الربط

(مثال توضيح رمز استناداً إلى قيم موجودة في قاعدة البيانات). عدا عن ذلك لا تمكن هذه النظم من تخزين العلاقات الطبولوجية أو استخدامها حيث إنّ العلاقات بين العناصر على الخريطة غير محددة في هذه الأنظمة، ويجب استنباطها وهذا ما يلغي إمكانية التحليل المكاني بعكس نظم المعلومات الجغرافية التي تتيح تعريفاً مكانياً وطبولوجياً للعناصر المكانية.

ومن ثمّ هناك حاجة للتوافق ما بين مكونات الحاسوب و برمجياته، و البيانات المدخلة في علم الخرائط المعاصرة لذلك أصبحت نظم المعلومات الجغرافية أداة كارتوغرافية، في الحالات كلها، والاتجاه السائد حديثاً هو تزايد تحليلات البيانات الكارتوغرافية وهذا بدوره دفع تقنية نظم المعلومات الجغرافية نحو الشهرة لأن بعض الجغرافيين أو الباحثين في هذا المجال لم يكن لديه معرفة بهذه النظم وهذا ساعد في انتشارها بشكل كبير وواسع بين الأوساط العلمية المختصة.

1.3.5- علاقة أنظمة إدارة قواعد البيانات بنظم المعلومات الجغرافية: (Data base management system)

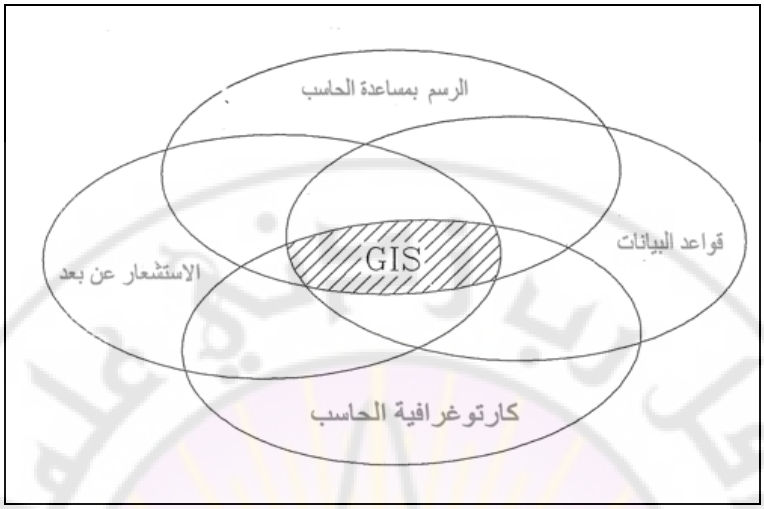
إن إحدى أهم أدوات البحث و الإدارة و أقواها في كوكبنا هي المعلومات (Information)، والتي كان الحصول عليها خلال القرون الماضية أمراً عسيراً بما توافر من أدوات وتقانات، لكن نتيجة توفر تقانات وأدوات متطورة أصبح لدينا كم هائل من المعلومات ومن مصادر متنوعة، ومن ثمّ كان لابد من إيجاد وسائل تمكن من ترتيب هذه المعلومات وحفظها نتج عنه نظم معلومات حديثة (Modern Information System) توظف تقاناتها الإلكترونية من حفظ، واسترجاع و معالجة و تحليل و تمثيل المعلومات المهمة. هذه النظم هي أنظمة قواعد البيانات التي تُمكن من تخزين البيانات الوصفية واستعادتها ومعالجتها بشكل أساسي وهي ذات قدرات تحليلية عددية (إحصائية) متطورة بشكل عام إلا أنّ إمكاناتها في الإظهار الرسومي للخرائط والقدرة على التحليل المكاني محدودة جداً.

لكن نظام المعلومات الجغرافية يحوي نظم قواعد بيانات تعمل في بيئة نظم المعلومات الجغرافية نستطيع من خلالها ربط الموقع الجغرافي بالبيانات ليصبح اسمها البيانات الجغرافية (Geographic Data) التي تشمل البيانات المكانية، والبيانات الوصفية أي إنّ معالجة هذه البيانات وتحليلها وتمثيلها أصبح لها أبعاد مكانية.

6.3.1– علاقة الاستشعار عن بعد بنظم المعلومات الجغرافية: Remote sensing)

تُعدّ الصور الجوية والفضائية إحدى أهم مصادر البيانات الأساسية في نظم المعلومات الجغرافية بما تتميز به من خصائص من حيث المساحة التي تغطيها، ودقة المظاهر التي تظهر في الصورة عدا عن الخصائص الطيفية والسرعة في الحصول عليها عند الطلب لذا تم تطوير أنظمة لتخزين البيانات الشبكية (Raster data) التي تقدمها المشعرات الفضائية ومعالجتها وهي تملك قدرات كبيرة في معالجة هذا النوع من البيانات إلا أن معالجتها للبيانات المتجهة (Vector data) ومعالجة البيانات الوصفية محدود جداً.

إنّ نظم المعلومات الجغرافية تجمع بين إمكانات الأنظمة الأربعة الموضحة في **الشكل (1)** ولكنها تتميز منها بوجود العلاقات الطبولوجية وإمكانية التحليل المكاني. فالأنظمة السابقة مخصصة لأغراض تختلف عن أهداف نظم المعلومات الجغرافية رغم أن عدداً من إمكانات نظم المعلومات متوفرة أيضاً في هذه الأنظمة على سبيل المثال تتضمن أنظمة الرسم بمساعدة الحاسوب إمكانية رسم المخططات والخرائط وهذه الإمكانية متوفرة في نظم المعلومات أيضاً إلا أنّ نظم المعلومات غير الجغرافية غير مخصصة تحديداً لرسم الخرائط والمخططات.



شكل (1): علاقة نظم المعلومات الجغرافية بالأنظمة الأخرى

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الثاني

مكونات نظم المعلومات الجغرافية ووظائفها

1.2 – مقدمة

2.2 – المكونات المادية (الصلبة)

3.2– البرمجيات

4.2– البيانات والمعلومات المكانية

5.2– المستخدم أو العنصر البشري

6.2– الإجراءات والتحاليل

7.2– وظائف نظام المعلومات الجغرافية وتطبيقاته

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني: مكونات نظم المعلومات الجغرافية ووظائفها

1.2 – مقدمة

إن المفاهيم الخاصة بنظم المعلومات الجغرافية، والموضحة في الفصل السابق تُظهر أن العمل فيها يحتاج إلى متطلبات متعددة، مادية وبرمجية، ترتبط بإدخال البيانات والمعلومات الجغرافية ومعالجتها وإخراجها، بعضها تجهيزات مادية وبعضها الآخر برمجية وبشرية. يتألف أي نظام معلومات جغرافية من خمسة مكونات أساسية لابد من توفرها لإنجاز أي مشروع هذه المكونات (**الشكل 2**) هي:

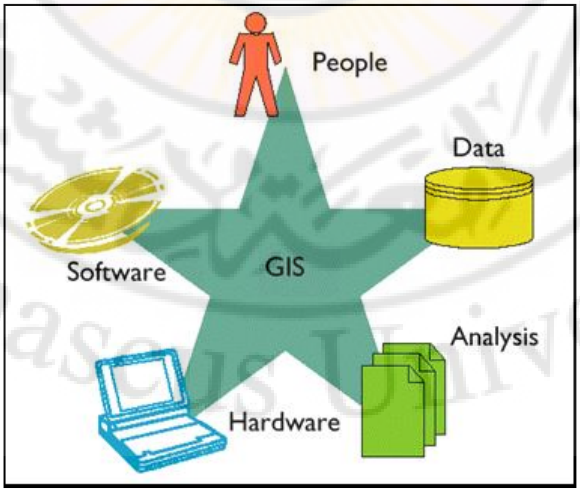
1 المكونات المادية (Hardware)

2 المكونات البرمجية (Software)

3 البيانات والمعلومات المكانية (Spatial Data & Information)

4 العناصر البشرية (People)

5 التطبيقات (الإجراءات، التحليل) Applications، Procedures



شكل (2) مكونات نظم المعلومات الجغرافية

2.2– المكونات المادية (الصلبة) Hardware :

إن مفهوم الآلة في أي نظام معلومات جغرافي هو الحاسوب الآلي الذي يعمل عليه ذلك النظام ومكوناته. ويُعدّ الحاسوب الآلي وتجهيزاته (Hardware) بمنزلة البنية التحتية لنظم المعلومات الجغرافية، تتنوع مكونات الحاسوب اليوم، فهي تتراوح من حواسب شخصية محدودة المواصفات محمولة بحجم الكف إلى حواسب عملاقة (Mainframes) باستطاعتها تخديم أعداد كبيرة من المستخدمين في وقت واحد. إن وجود مكونات الحاسوب يشكل شرطاً أساسياً في إطار نجاح أي عمل طبيعي في قطاع نظم المعلومات الجغرافية. فمن خلال هذه المكونات يمكن القيام بعمليات التحليل والمعالجة، كما تشمل مكونات الحاسوب الصلبة (Hardware) أجهزة عرض البيانات كالشاشات، وأجهزة تخزين البيانات وتمثيلها وتحليلها كالأقراص الصلبة العالية التخزين والأقراص المضغوطة والأشرطة والمعالجات لزيادة سرعة التحليل.

من الممكن اليوم شراء برمجيات نظم المعلومات الجغرافية لتلائم أنواع الحواسب الموجودة في الأسواق كلها تقريباً، ومع تطور المقدرة التخديمية للشبكات أصبح بالإمكان تخديم عدد كبير جداً من مستخدمي النظام من خلال شبكة الويب العالمية أو الانترانت المحلية في حال وجود نظام معلومات جغرافي على مستوى مؤسسة كبيرة أو مدينة أو دولة، فهذا يستوجب ما يسمى مشروع نظام معلومات جغرافية (GIS Enterprise). وأصبح بمقدورنا اليوم عن طريق شبكة الانترنت أن نربط أعداداً لا حصر لها من الحواسب تمكن عدداً كبيراً من المستخدمين من الوصول إلى البيانات المطلوبة من خلال هذه الشبكة هذا بالإضافة إلى انتشار أجهزة تحديد المواقع على سطح الأرض (GPS) والتي تستخدم لتحديد إحداثيات نقاط معينة عليه. لذلك يُعدّ الحاسوب الآلي ومكوناته المكون الأساسي للمكونات المادية.

2-2-1 أجهزة الإدخال :Input device

هي مجموعة من التجهيزات يمكن بوساطتها إدخال البيانات بأشكالها المختلفة، إلى الحاسوب. وإذا كانت البيانات مختلفةً في شكلها ومضمونها، فإن أدوات إدخالها و وأساليب تحويلها إلى معلومات رقمية في ذاكرة الحاسوب، مختلفة أيضاً. تتألف تجهيزات الإدخال مما يلي (انظر **الشكل** 3):

- ✓ **لوحة المفاتيح (Keyboard) :**

تُعدّ أحد المكونات الأساسية لأي حاسب، وقد كانت الأداة الأولى التي استخدمت مع الجيل الأول من الحواسيب، فهي أداة إدخال الأوامر والتعليمات، وأداة البرمجة، أو أداة الوصول إلى البرامج المختلفة. ومن المعلوم أن لوحة المفاتيح تضم مجموعة كبيرة من المفاتيح التي يمكن بوساطتها إدخال الحروف والأرقام، والرموز المخزنة على شكل فونتات (Fonts)، كما تحتوي العديد من الأوامر الجاهزة، والمفاتيح التي تؤدي وظائف متكاملة، وحركات مختلفة، ويتم باستمرار تطوير نماذج من لوحات المفاتيح، تؤدي وظائف مختلفة جديدة، مثل لوحة المفاتيح متعددة الوسائط (Multimedia). بالطبع لا يقتصر دور لوحة المفاتيح على إدخال البيانات الرقمية والنصية، بل تُعدّ الوظيفة الأساسية لها إدارة البرامج واستثمارها، في مراحل العمل كلها بدءاً من الإدخال وصولاً إلى المعالجة، وانتهاءً بإخراج النتائج.

- ✓ **الفأرة (Mouse) :**

لا يقل دور الفأرة كثيراً عن دور لوحة المفاتيح، إذ إن دورها يتعاظم، بزيادة الوظائف التي يمكن تنفيذها من خلالها . فقد تطورت الفأرة من فأرة ذات زر واحد يشير إلى موقع المؤشر على الشاشة، إلى فأرة ذات زرين، ثم ثلاثة، ثم فأرة مع إمكانية التحريك من الأعلى بوساطة عجلة – Scroll Mouse، وفأرة ليزرية، وأخرى لا سلكية بحيث يمكن الاستغناء عن لوحة المفاتيح في كثير من الأعمال الخاصة بإدخال الأوامر إلى

الحاسوب. ولعل الدور الأساسي الذي تستخدم فيه الفأرة بوصفها أداة إدخال لمعلومات جغرافية، هو حالة استعمالها في تتبع الخطوط والنقاط، عند القيام بترقيمها على الشاشة مباشرة، وهذا ما ستتم الإشارة إليه في فصل لاحق .

✓ **الماسح الضوئي (Scanner) :**

يُعدّ الماسح الأداة الأكثر استخداماً في عمليات إدخال المعلومات الجغرافية الرسومية، إذ يمكن بوساطته تحويل البيانات الرسومية إلى صور رقمية لها بسرعة كبيرة، سواءً كانت البيانات الرسومية بالأبيض والأسود، أم بالألوان، وبمقاسات مختلفة، تختلف معها مقاسات المواسح الإلكترونية اللازمة. إذ تصنع مواسح بمقاسات تتراوح بين A4 و A0 مروراً بمقاسات A3 وA2 و A1 ومن المعروف أن أبعاد منطقة المسح الفعال في هذه المواسح الإلكترونية هي على الشكل الآتي في **الجدول** (1):

جدول (1) مواصفات المواسح

أبعاد الماسح	أبعاد منطقة المسح الفعال
A4	29.7* 21 cm
A3	29.7 * 42 cm
A2	42 * 59.4 cm
A1	59.4 * 84 cm
A0	118.8 * 84 cm

غير أن أكثر المواسح الإلكترونية شيوعاً هي ذات المقاس A4 باعتبارها مواسح ذات طبيعة منزلية شخصية، يليها مواسح من مقاس A3 التي تستخدم في الأغراض المهنية. غير أن المواسح من مقاس A0 تُعدّ المواسح المهنية التي تستعملها الجهات العاملة في مجال نظم المعلومات الجغرافية والأعمال الهندسية التي تتطلب التعامل مع المخططات والخرائط كبيرة المقياس. وتتميز معظم هذه المواسح بالمسح الدوراني (أي أخذ الوثيقة المراد

مسحها بعرض أقصى وهو 118.8 سم وطول غير محدود – Role) . وتختلف المواسح المعروفة ليس من حيث مقاسها فقط، إنما من حيث سرعة المسح التي تقوم بها ودقته، فمن حيث الدقة، تصل الدقة القصوى إلى عدة آلاف نقطة في الإنش المربع، ويمكن تقليل هذه الدقة حسب رغبة المستخدم، تلك الرغبة التي ترتبط بدرجة الدقة المطلوبة في العمل، وحجم التخزين والمعالجة المتاحة على الحاسوب، وبدقة الوثيقة الأصلية التي تُمسح، إذ إنه لا مسوغ لزيادة دقة مسح وثيقة قليلة الدقة بالأصل، إذ لن يزيد ذلك من دقتها .أما من حيث سرعة المسح، فتقاس حسب دقة مسح قياسية، ومن ثمّ عدد الصفحات، أو طول الوثيقة التي يمكن مسحها في وحدة الزمن (الدقيقة) وقد وصلت سرعة مسح بعض المواسح المخصصة لمسح الوثائق النصية من قياس A4 إلى مئة ورقة في الدقيقة الواحدة، مع عملية حفظ المادة المخزونة وأرشفتها. وبشكل عام فإن سرعة المسح تختلف حسب دقة المسح المطلوبة، وحسب المواصفات الفنية لجهاز المسح، والحاسوب الذي يتصل به، وتقاس سرعة المسح في المواسح الكبيرة A0 بالسنتيمتر / دقيقة .

ومن حيث مبدأ عمل المواسح الإلكترونية فهي مختلفة أيضاً، حيث تعمل المواسح الصغيرة على مبدأ تحرك عدسات المسح أمام الوثيقة الممسوحة الثابتة فوق لوح زجاجي شفاف، بينما تعمل المواسح الكبيرة بأكثر من طريقة منها: مبدأ تثبيت الوثيقة على أسطوانة قابلة للدوران أمام عدسات المسح الثابتة أو المتحركة على طول الأسطوانة، ومبدأ تحرك الوثيقة بوساطة أسطوانة متحركة دورانياً كالعجلة لتدخل الوثيقة إلى الماسح من جهة وتخرجها من الجهة الأخرى بعد مرورها أمام عدسات ثابتة أو عدسات متحركة على طول الأسطوانة .

أما مبدأ عمل الماسح الضوئي، فيعتمد على تقسيم السطح الممسوح إلى مربعات ترتبط أبعادها حسب دقة المسح المطلوبة (Resolution)، ومزايا الماسح نفسه، وتلتقط عدسات الماسح معلومة ضوئية لكل مربع من هذه المربعات، تُسجّل رقمياً في ذاكرة الحاسوب، ويمكن استرجاع الصورة بوساطة أحد البرامج التي تسمح بقراءة ملفات

الصور. وتدعى البيانات المسجلة بطريقة المسح الإلكتروني بيانات شبكة المسح (Raster data) التي سيتم الحديث عنها بتفصيل أكبر في فصل لاحق . ولهذه البيانات صيغ عدة تحفظ بها في ملفات صُوريَّة (Images) يتوقف اختيارها على قدرة برنامج نظم المعلومات الجغرافية على قراءة هذا النوع أو ذاك، وعلى درجة الدقة المطلوبة، وحجم التخزين الممكن، وإمكانية فتح الملف بوساطة برامج أخرى. وسيشرح ذلك بالتفصيل لاحقاً.

✓ **المرقم (Digitizer) :**

جهاز يستخدم لنقل النقاط الموجودة على رسم ورقي معين ومثبت على لوحة الجهاز، إلى ذاكرة الحاسوب عن طريق تحديد الإحداثيات العرضية والطولية لهذه النقطة بالنسبة إلى هذه اللوحة، ومن ثمّ إلى شاشة الحاسوب. يتكون المرقم من لوحة إلكترونية بمقاسات مختلفة (A0 - A4)[23] ، تغطيها شبكة دقيقة جداً من الخلايا الإلكترونية، التي يعبر عددها في الإنش المربع عن دقة الترقيم التي يمكن الحصول عليها. وترتبط اللوحة بمؤشر (Curser) يشبه فأرة الحاسوب، غير أنه يكون مزوداً بعدسة في وسطها إشارة (+) لوضعها على النقطة المراد ترقيمها، ومزوداً بعدد من الأزرار (16 زراً عادة) لكل منها وظيفة مختلفة في أثناء عملية الترقيم.

استُعيض عن لوحة الترقيم بطريقة الترقيم من الشاشة لأنها تُمكن المستخدم من تكبير الظاهرة المراد ترقيمها بشكلٍ كبيرٍ مما يقلل من أخطاء الترقيم ويزيد من دقة الترقيم.

[23] تبدأ مقاسات المرقم من 21 × 29.7 سم A4، وحتى 168 × 118.8 سم 2A0

✓ **آلات التصوير الرقمية Digital Camera**

تُعدّ آلات التصوير الرقمية وأجهزة المساحة الرقمية مثل نظام تحديد المواقع العالمي GPS من الوسائل المهمة لإدخال البيانات إلى الحاسوب، وتقاس قدرة هذه الأجهزة من خلال المواصفات الفنية المختلفة وأهمها:

- دقة التمييز
- السرعة في إدخال البيانات
- الدقة في الإدخال
- حجم البيانات المدخلة

شكل (3) أجهزة الإدخال

2-2- 2 أجهزة التخزين والمعالجة :

هي تلك الأجزاء من الحواسب وملحقاتها المسؤولة عن تخزين المعلومات، ثم معالجتها.

✓ **الذاكرة المرنة (الرام – Ram) :**

هي الذاكرة المؤقتة التي يستخدمها الحاسوب في أثناء عمليات الإدخال والمعالجة والإظهار، وتنتقل البيانات منها إلى أماكن التخزين الأخرى كالقرص الصلب (Hard Disc) والقرص المدمج (CD)، والقرص المرن (Floppy) وغيرها، والذاكرة المرنة كرت إلكتروني مزود بذواكر تصل سعة الواحدة منها الآن إلى أكثر من جيغا بايت، وتقبل اللوحة الأم (Mother board) أكثر من كرت من كروت الذاكرة المرنة، مما يزيد من قدرة الحاسوب على إدخال البيانات وعرضها ومعالجتها، ويُعدّ هذا الأمر ذا أهمية خاصة للبيانات الجغرافية المدخلة على شكل شبكة مسح – Raster كالخرائط الكبيرة الممسوحة بدقة عالية، والصور الجوية والفضائية الرقمية، متعددة الأطياف[24].

✓ **الذاكرة الصلبة (القرص الصلب الداخلي Internal Hard Disc)**

وهي مكان التخزين الأساسي في الحاسوب، حيث تخزن البيانات والبرمجيات بما في ذلك نظم التشغيل الخاصة بمعدات الحاسوب نفسه، ونظام التشغيل العام مثل برنامج التشغيل (ويندوز). وتُعدّ الذاكرة الصلبة بمنزلة المستودع العام الداخلي للحاسب، وتخرج منه البيانات والبرامج لتظهر على الشاشة أو لتنقل إلى ذواكر أخرى، بما في ذلك ذاكرة الإظهار، التي يضمها كرت الشاشة، المركب على اللوحة الأم . وتختلف سعة الذواكر الصلبة لتصل الواحدة منها إلى مئات من الجيغا بايت (Gega byte)، وهذه السعة كافية لتخزين كميات هائلة من البيانات والبرامج . ومن المعلوم أن البيانات التي تخزن في القرص الصلب يمكن إزالتها، واستعمال مكانها لتخزين معلومات جديدة، أي إنها صالحة للاستعمال المتكرر، وهذا غير متيسر مثلاً على الأقراص المدمجة العادية (CD) .

[24] صفية عيد و بهجت محمد : الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، منشورات جامعة دمشق، 2010- 2011

✓ **الذاكرة الصلبة (القرص الصلب الخارجي External Hard Disc):**

كثر في الآونة الأخيرة الاعتماد على ذواكر صلبة خارجية توصل مع الحاسوب من خلال مداخل، ولها مزايا القرص الصلب الداخلي نفسها ويسهل استعمالها مع أي جهاز حاسب، ويحسن استخدامها من أجل نقل الملفات الضخمة وحفظها مثل مشاريع نظم المعلومات الجغرافية التي تتضمن صوراً رقمية، ومعالجتها على حواسب مختلفة.

✓ **الذاكرة الصلبة (Flash Memory Disc) :**

انتشرت هذه الذواكر بسبب صغر حجمها وإمكان حملها وتعليقها وربطها بأي حاسب إضافة إلى توسع حجم تخزينها ليصل إلى تيرا بايت، فضلاً عن إمكانية حذف البيانات وإعادة التخزين عليها، مثلها في ذلك مثل القرص الصلب الداخلي والخارجي.

✓ **الأقراص المرنة (Floppy Disc) :**

ظهرت هذه الأقراص في مرحلة مبكرة من مراحل الانتقال من الحواسب القديمة الضخمة التي ظلت سائدة حتى الستينيات من القرن العشرين، والتي كانت تعتمد على البطاقات المثقبة والطباعة الورقية في حفظ البيانات خارج الجهاز ثم على الأشرطة والديسكات الممغنطة . وتتميز الأقراص المرنة بصغر حجمها، وبطاقتها التخزينية الجيدة نسبياً في ذلك الحين (1.44 MB)[25] ، وبإمكانية التسجيل المتكرر على القرص نفسه. ولهذه الأقراص محرك خاص يركب عادة في الحواسب الشخصية كلها، وفي محطات العمل – Work Stations، والحواسب الكبيرة التي تخدم المؤسسات، والتي يطلق عليها الخوادم أو المخدمات – Servers. غير أن هذه الأقراص لا تصلح لتخزين الملفات الكبيرة جداً مثل الخرائط الكبيرة الممسوحة والصور الفضائية الرقمية عالية القدرة التمييزية، والمتعددة الأطياف وقد اختفت تقريباً من الحواسب الحديثة .

[25] لم تعدْ مستخدمة حالياً

✓ **الأقراص المدمجة (CD):**

صارت الأقراص المدمجة واسعة الانتشار بفضل سعتها الكبيرة بالمقارنة مع الأقراص المرنة (الفلوبي)، إذ تصل سعتها إلى 800 ميغا بايت، ولا يتعدى وزنها عشرة غرامات، وتصنع من مادة بلاستيكية رخيصة، وتطلى بطلاء معدني خاص. وقد انخفضت أسعارها كثيراً بفضل سعة انتشارها وتنافس الشركات المصنعة لها. وتركب مع الحواسب محركات خاصة لقراءة محتويات هذه الأقراص (CD Drive)، كما تُرَكب محركات خاصة بالكتابة (التسجيل) عليها (CD Writer)، وهي محركات أقل انتشاراً. غير أن الميزة الخاصة بهذه الأقراص، أن الجيل الأول منها لا يقبل إعادة الكتابة عليها، ولذلك تم التفكير ثم اختراع الجيل الثاني، الذي يتميز بسعة التخزين الأكبر، وإمكانية إعادة الكتابة مرات عديدة.

✓ **الأقراص عالية الكثافة (DVD) :**

ظهرت هذه الأقراص ومحركاتها، نتيجة اتساع الطلب على الحوامل الخارجية ذات السعة الفائقة، التي تمكن من تخزين الملفات الضخمة، مثل الأفلام السينمائية الطويلة مع الحفاظ على الدقة العالية التي يجب أن تتميز بها الصورة، في حين لم يكن ذلك ممكناً على قرص مدمج واحد، كما تم التغلب على مسألة الاستعمال المتكرر للحامل نفسه. وبذلك فإن القرص المسمى – DVD يماثل من حيث مواصفاته، القرص الصلب في الحاسوب، مع فارق إمكانية إخراجه ونقله بسهولة من حاسب إلى آخر، وفارق حجم التخزين الممكن عليه، الذي يصل إلى تسعة (جيغا بايت).

✓ **الفلاشات USB :**

التي تُعدّ من وسائل التخزين السهلة الاستخدام مع إمكانية تخزين كبيرة جداً تعادل في الوقت الحاضر 64 وحتى 128 غيغابايت.

2-2-3 أجهزة العرض والإخراج :

هي مجموعة ملحقات يتم من خلالها إظهار النتائج، ويتم تحديد مواصفاتها الفنية من خلال مجموعة من المعايير منها دقة التمييز، والسرعة، وحجم البيانات المخرجة وتتألف هذه الوسائل مما يلي (انظر **الشكل** 4):

- ✓ **شاشة العرض Monitor**:

كثيراً ما تؤدي الشاشة دور المرآة التي تظهر عليها مراحل العمل، ويمكن بوساطتها توجيه الأوامر، بالإشارة إلى الأيقونات والأزرار المناسبة باستخدام الفأرة، حيث يستطيع المستخدم رؤية نتيجة الأمر الموجه، ترتبط شاشة العرض بالحاسوب عن طريق بطاقة الرسوم التي تُعدّ وحدة صغيرة في جهاز الحاسوب مسؤولة عن تناول الملفات الرسومية والصور والفيديوهات وإنشاء الصور وإظهارها على الحاسوب تزود بطاقة الرسوم (كرت الشاشة) بذاكرة إظهار تتزايد باستمرار، فقد وصلت الآن إلى أكثر من 5 جيغا بايت، ولكل بطاقة مزايا تتعلق بنظام الإظهار ونظام الألوان وعددها الأقصى، وتتصل هذه البطاقة بالحاسب عن طريق اللوحة الأم.

- ✓ **الطابعات Printers** :

تتمكن الطابعة من إخراج المعلومات الحاسوبية بصورة ورقية، بالأبيض والأسود، أو بالألوان. ومن ثمّ تُعدّ الطابعة وحدة إخراج مهمة للبيانات والمعلومات في نظم المعلومات الجغرافية. هناك أنواع مختلفة من الطابعات منها :

- ✓ **الطابعات الإبرية** : وهي طابعات يتكون رأس الطباعة فيها من مجموعة من الإبر المفرغة التي يخرج منها الحبر ذو اللون الواحد، أو الأحبار المتعددة الألوان، ثم تشكل النقاط التي تتركها هذه الإبر على الورق الكتابة أو الرسم المطلوب .
- ✓ **الطابعات الليزرية** : وهي طابعات سريعة العمل كان معظمها يعمل بنظام وحيد اللون (أسود)، وصمم بعضها الآخر ليطبع بالألوان، وقد انتشرت هذه لتصبح اقتصادية، إذ تطبع بعرض ورق الطباعة في وقت واحد عن طريق عبوة بلون واحد

أو عبوات بألوان مختلفة للحبر الجاف (مسحوق)، وهي طابعات اقتصادية من حيث استهلاك الحبر، وتكلفة الطباعة مقارنة بالطابعات النافثة للحبر.

✓ **الطابعات النافثة للحبر Inkjet printer** : وهي طابعات ملونة في معظمها، تعمل على الحبر السائل في عبوات متصلة برأس الطباعة ذي اللون الواحد أو الألوان الأربعة (الأسود، الأحمر، الأزرق، الأصفر)، ويعتمد عملها على نفث الحبر عبر رأس الطباعة باتجاه الورق، على شكل نقاط صغيرة تشكل بعضها مع بعض المادة المطبوعة، وتختلف دقة نقاط الحبر المنفوث، حسب دقة الطباعة المطلوبة، وتقدر دقة الطباعة عادة بعدد النقاط في الإنش المربع الواحد. وهذا يتعلق بأنواع الطابعات كلها وليس بالنافثة للحبر منها فقط. وتُعدّ دقة الطباعة وسرعتها من أهم الميزات التي تتصف بها الطابعة، والتي تحدد سعرها، ومدى رواجها.

✓ **الراسمة Plotter** : آلة طابعة كبيرة، من مقاس A1 أو A0 مخصصة لطباعة الخرائط والمخططات والصور الكبيرة، وتعمل بأنظمة مختلفة، فقد كانت الأجيال الأولى من هذه الطابعات قلمية – أي يزود رأس الطباعة بقلم واحد أو مجموعة من الأقلام الملونة، وعند مرور هذه الأقلام بملامسة ورق الطباعة فإنها ترسم نقاطاً أو خطوطاً مستمرة أو متقطعة، وذلك حسب شكل الخط المطلوب الذي يظهر على الشاشة، وقد صممت معظم الطابعات القلمية على شكل طاولة كبيرة يتحرك رأس الطباعة فوقها طولاً وعرضاً ليصل إلى منطقة الطباعة الفعالة كلها. ولذلك كانت هذه النماذج من الطابعات تشغل حيزاً كبيرا من المكان. أما الجيل الأحدث من الراسمات فاعتمد مبدأ الطباعة بنفث الحبر من رأس وحيد اللون، أو من أربعة رؤوس (أو أكثر) بالألوان الأساسية المذكورة، واستعيض عن طاولة الطباعة، بالطباعة على خط من لفافة – Role، حيث يكون الورق المعد للطباعة على شكل لفافة يمر طرفها على مسار رؤوس الطباعة. كما إن الراسمات تختلف من حيث دقة الطباعة، ونوعية الأحبار والورق أو المواد البديلة الأخرى المستخدمة للطباعة، وتكلفة الطباعة. وقد ظهرت أنواع كثيرة من

الراسمات الضخمة التي يمكن طباعة اللوحات الكبيرة بوساطتها، بما في ذلك اللوحات الدعائية الملونة التي نشاهدها على لوحات الإعلان في الشوارع، ويمكن الاستفادة من هذه الأنواع من الراسمات في طباعة الخرائط والمخططات والصور المعدة للمعارض والصالات الكبرى.

شكل (4) أجهزة العرض والإخراج

✓ **بطاقة الاتصالات (المودم – Modem)** : يُعدّ الاتصال من خلال الحواسب الآن مصدراً مهماً للمعلومات، ومخرجاً لها أيضاً، حيث يمكن الحصول على البيانات والمعلومات اللازمة للعمل بنظم المعلومات الجغرافية عن طريق شبكة المعلومات المحلية – الانترانت– Intranet، أو شبكة المعلومات الدولية – الشابكة – (الانترنت –Internet)، كما يمكن استقبال المعلومات عن طريق الاتصال الهاتفي الثابت والمتحرك، وإرسالها لهذه الشبكة.

3-2 : البرمجيات Software

تُعدّ البرمجيات من أهم مكونات نظم المعلومات الجغرافية، ويتكون البرنامج من عدد كبير من الأوامر التي تصاغ في أسطر، ويعطى لكل سطر منها رقم، وتنفذ من خلاله عملية أو إجراء ما. كي نرسم نقطة على الشاشة يجب أن يتوفر برنامج مكون من سطرين على الأقل، الأول تحدد فيه إحداثيات النقطة على الشاشة، والثاني يطلب تنفيذ هذه النقطة بوضعها في مكانها على الشاشة.

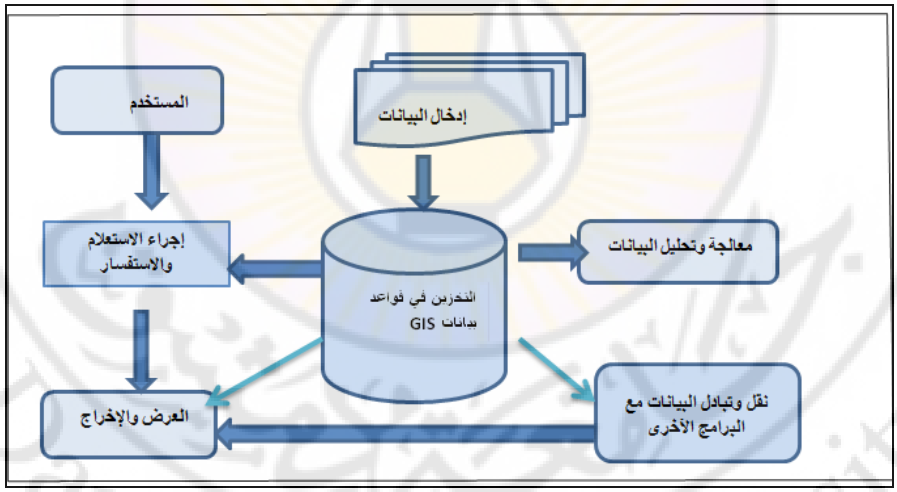
تتعدد البرامج التطبيقية التي تهتم بمعالجة البيانات والحصول على أشكال رسومية، وخرائط وجداول، لكن لا يمكن أن نُعدّها برامج متخصصة في نظم المعلومات الجغرافية إلا إذا توفرت فيها الأدوات والأساليب الخاصة بتخزين المعلومات الجغرافية وتحليلها وعرضها.

يتوافر في الأسواق اليوم العديد من برمجيات نظم المعلومات الجغرافية، حيث نجد العديد من الأنظمة البرمجية الشاملة و المدعمة بشكل كامل من قبل منتجي هذه البرامج، و التي تتميز بانخفاض تكاليفها نسبياً مقارنة بالوظائف التي تؤديها إضافة إلى سرعتها و سهولة استخدامها. كما يوجد العديد من البرامج الشائعة الاستخدام في مجال العمل كالأنظمة المصممة في الجامعات و المخصصة للتدريب الأكاديمي الجامعي. هذه المجموعات البرمجية تمتاز بانخفاض تكلفتها نسبياً و تعمل ضمن مجال أنظمة البرمجيات الصغيرة لكنها بالرغم من ذلك تقوم بعمليات عدة يمكن الاستفادة منها في نظم المعلومات الجغرافية كبرمجيات (Idreese، Grass، ArcView). لكن أشهر برمجيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) هو برنامج (ArcInfo) المنتج من شركة (ESRI) العالمية.

يجب أن يتوفر في أي برنامج نظم معلومات جغرافية الإمكانات الآتية :

- إمكانية إدخال البيانات المختلفة وإجراء عمليات اختبار دقة الإدخال.

- إمكانية تخزين الأشكال المختلفة للبيانات الوصفية أو الجغرافية.
- إمكانية ربط قواعد البيانات العلائقية (Relational Database)
- إمكانية البحث و التحليل و العرض
- إمكانية الاستعلام والاستفسار
- إمكانية نقل البيانات إلى البرامج الأخرى وتبادلها معها
- إمكانية إنشاء علاقات طبولوجية (Topological Relationships) بين عناصر نظام المعلومات الجغرافية.
- أدوات و وسائل تسمح لعدد كبير من المستخدمين بإدخال البيانات و العمل في وقت واحد و بكفاءة عالية (Multi- User Management). انظر **الشكل** (5).



شكل (5) الإمكانات المطلوبة في برمجيات نظم المعلومات الجغرافية

تتميز برمجيات نظم المعلومات الجغرافية بإمكانية التعامل مع البيانات والمعلومات المكانية المختلفة، وذلك من خلال إمكانية إدخال البيانات والمعلومات الجغرافية إلى ذاكرة الحاسوب بأشكال مختلفة، فيتم الإدخال على شكل أرقام وحروف كمعلومات وصفية، أو يتم إدخال المعلومات الرسومية على شكل خطي (متجه) Vector data

أو شبكة من الخلايا Grid Cell بخصائص لونية مختلفة تدعى بيانات شبكية (مساحية) Raster Data.

تحتوي برمجيات نظم المعلومات الجغرافية أدوات تقوم بما يلي:

1. الربط بين المعلومات الوصفية والمعلومات الرسومية، والبناء المتزامن لهذه المعلومات، حيث تتميز كل من المعلومات الوصفية والرسومية بارتباطها بإحداثيات، تعبر عن موقعها سواءً كانت إحداثيات جغرافية أو تربيعية، أو إحداثيات الشاشة.
2. إجراء التعديلات على البيانات الوصفية أو الرسومية المدخلة في أية مرحلة من مراحل المعالجة.
3. تخزين المعلومات الرسومية للموقع الجغرافي نفسه، على شكل طبقات يضم كل منها نوعاً محدداً (الطرق، والشبكة المائية، والمدن، والغابات،...)
4. إجراء عمليات الدمج والمطابقة المكانية بين الشرائح المكونة لمشروع الدراسة.
5. إجراء عمليات القص والوصل للشرائح لمكونات المشروع.
6. القدرة على معالجة البيانات المدخلة وتطبيق العلاقات الرياضية العادية والمنطقية عليها، مثل الجمع والطرح والضرب والقسمة، وتحديد الأكبر والأصغر.
7. القيام بعمليات البحث عن المعلومات المكانية المطلوبة، وتتبع الظاهرة.
8. القيام بالحسابات المباشرة مثل المسافات والمساحات والانحدار.
9. إمكانية إيجاد المسار الأنسب، وفق الشروط التي يضعها المستخدم.
10. إمكانية تحديد منطقة التأثير أو التأثر بظاهرة نقطية أو خطية أو مساحية (Buffer zone).
11. القدرة على تخليق الشرائح والبيانات الوصفية والرسومية الجديدة اعتماداً على البيانات الموجودة.
12. إمكانية البحث عن المعلومات المكانية التي تتميز بصفات معينة، وإظهارها.

13. إمكانية إخراج البيانات والمعلومات التي يرغب المستخدم فيها على شكل جداول أو خرائط، أو صور، أو أشكال بيانية مختلفة.

14. إمكانية إضافة تعديلات برمجية، تعتمد على عمليات منطقية يراها المستخدم ضرورية.

✓ **المكونات البرمجية الرئيسة لنظم المعلومات الجغرافية** ARC-GIS **ووظائفها:**

يبدو واضحاً من خلال عرض مزايا أنظمة المعلومات الجغرافية، أن المكونات البرمجية لها يجب أن تغطي هذه المزايا والوظائف. ولكن البرمجيات المتوفرة، نجدها مكونة من برنامج رئيس ينفذ العمليات الأساسية المطلوبة، ومعه برامج فرعية مكملة لا غنى عنها، وهذا ما ينطبق على برمجية أرك إنفو – Arc/ Info التي ترتبط بوحدات برمجية مساعدة مثل Arc Catalog و Arc Edit و Arc Plot و Arc Tools و Arc COGO و Arc Scan و Arc Grid و Arc Express و Arc Tin، وتُعدّ بعض هذه الحزم اختيارية مثل Arc Tin. وقد أصبحت تشكل حزمة Arc/Info مجموعة برمجية واحدة مع ArcView بتوسعاته المختلفة، مثل Spatial Analyst و Network Analyst و 3D Analyst، وذلك بدءاً من الإصدار الثامن 8X Edition. وتختلف تسمية المكونات البرمجية لدى الشركات المصنعة لنظم المعلومات الجغرافية، غير أن برمجيات Arc / Info و Arc View التي ينتجها معهد أبحاث النظم البيئية ESRI تُعدّ قياسية بالنسبة لهذا المجال البرمجي. **ويمكن تعداد أهم الوحدات البرمجية في نظم المعلومات الجغرافية والوظائف الأساسية التي تقوم بها:**

- Arc Catalog : وحدة برمجية أدخلت في مجموعة أرك إنفو –8، تختص بإدارة المعلومات والبيانات المدخلة إلى نظام المعلومات، وإمكانية نقلها وجمعها وفصلها كملفات، دون الحاجة إلى فتحها، إذا لم يكن ذلك ضرورياً.

- Arc Edit : وحدة برمجية تختص بإدخال المعلومات الجغرافية ومعالجتها.
- Arc Scan : وحدة برمجية تختص بتحويل ملفات شبكة المسح (Raster Data) المدخلة عن طريق الماسح الإلكتروني إلى ملفات خطية – متجهة (Vector Data)، مما يسهل عملية ترقيم العناصر الخطية الداخلة في المشروع .
- Arc Grid : وحدة برمجية مهمتها تحليل بيانات شبكة المسح (Raster) مثل العمليات الخاصة بتحليل علاقات التجاور والتباعد.
- Arc Express : وحدة تختص بعرض الصور الرقمية، وربطها بمواقعها الجغرافية، تمهيداً لمعالجتها .
- Arc COGO : وحدة برمجية مهمتها ربط المعلومات التي تم الحصول عليها ميدانياً، بالمعلومات الموجودة داخل النظام ودمجها فيها.
- Arc Tin : وحدة برمجية ملحقة ببرنامج Arc/Info يقابلهاArc View 3D Analyst في Arc View مهمتها بناء النماذج ثلاثية الأبعاد، وإجراء التحليلات والعمليات الخاصة بها، مثل حساب الانحدار، وتحديد مجال الرؤية..
- Arc Network Analyst مهمتها تحليل الشبكات، مثل حساب الأطوال، وتصنيف الأنواع، وتحديد المسار الأنسب ..
- Spatial Analyst وحدة التحليلات المكانية، وهي من الوحدات الأساسية في نظم المعلومات الجغرافية .
- Map Objects :هي وحدة برمجية تساعد على تصميم الخرائط وإنتاجها وعرضها بالشكل المناسب .
- Arc CAD : وحدة برمجية مخصصة للربط بين الملفات المكانية (الجغرافية) المنتجة في نظام أوتو ديسك، والملفات الجغرافية في نظام (أرك إنفو) ومنتجات ESRI البرمجية الأخرى.

4.2 البيانات والمعلومات المكانية (Spatial Data & Informations)

✓ مفهوم البيانات والمعلومات:

يختلط مفهوم البيانات بمفهوم المعلومات لدى الكثيرين، كما تستخدم بعض المراجع تعبير معطيات بدلاً من تعبير بيانات، **ويقصد بالبيانات** الحقائق والقياسات الفعلية أو المواصفات الكمية والنوعية لظاهرة ما، والمعبر عنها من خلال مجموعة من الأرقام المنتظمة في جداول أو سواها، أو توصيف كلامي، أو من خلال رسم أو صورة لم تخضع للمعالجة .على سبيل المثال قياس درجة الحرارة لمنطقة معينة خلال سنة أو سنوات عدة.

أما المعلومات : فهي خلاصة تحليل البيانات بعد معالجتها لاستنباط معلومات، من مثل أن درجة الحرارة 33 درجة لكن من الناحية العلمية فهذه المنطقة تنتمي جغرافياً إلى المناطق المعتدلة. يمكن القول إن البيانات هي المادة الخام للمعلومات، أمّا المعلومات فهي المنتج النهائي أو شبه النهائي من البيانات .

لقد أدرك مستخدمو نظم المعلومات الجغرافية (GIS) حقيقتين مهمتين من هذا النظام. الأولى هي أن البيانات التي تنتج عن هذا النظام ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالبيانات المدخلة إليه. والثانية هي أن أكثر مكونات نظم المعلومات الجغرافية كلفة هي جمع البيانات الجغرافية _التي يُغذى بها هذا النظام والتي تشكل الجزء الأكبر من الكلفة الإجمالية عند بناء نظام معلومات جغرافي متكامل_ ومعالجتها. وتؤكد هذه الحقائق الأهمية الأساسية لإنشاء البيانات أو الحصول على ملفات للبيانات المكانية من مصادرها الموثوقة والتي يجب أن يتم جمعها بشكل دقيق. إنّ أي تفاصيل تحيط بنا في هذا العالم يمكننا إدراكها بالعين المجردة أو سماع صوتها أو حتى تحسسها، هذه التفاصيل كلها يمكن أن تتحول إلى صيغة بيانات رقمية مسجلة تساعد في بناء قاعدة البيانات الجغرافية، فعالم

البيانات مطلق لا حدود له. وتُعدّ مرحلة الحصول على بيانات جغرافية رقمية دقيقة عملية مكلفة جداً.

هذا النوع من البيانات ذو كلفة عالية في حال وصلت هذه البيانات من مصادرها الموثوقة منقحة ومصححة، وجاهزة لإجراء العمليات التحليلية، فعلى هذه البيانات أن تكون متعددة الوظائف لكي تكون قابلة للاستخدام من قبل أي مستخدم وأن تكون بصيغة (Common GIS Format) تمكّن الجميع من استخدامها بسهولة ويسر كي تتحقق الاستفادة القصوى منها على أكمل وجه، وتُستغل في المجال الصحيح. في السابق كانت البيانات تُجمع وتعالج غالباً لاستخدامها مرة واحدة، وذلك قبل ظهور نظم المعلومات الجغرافية المعتمدة على الحاسوب، أما في الوقت الحاضر فيمكن جمع كم هائل من البيانات و فهرستها، وتخزينها ومن ثم إدارتها في بيئة الحاسوب الآلي واستخدامها كمدخلات تغذي نظم المعلومات الجغرافية بحيث تمكن عدد كبير من المستخدمين من الاستفادة منها واستخدامها في أغراض عدة لكن ذلك يتطلب كلفة عالية. إن مشكلة جمع البيانات اليوم تتطلب تحديداً للمعايير ومقارنتها مع البنية التي أنتجت هذه البيانات عندها فقط يمكن زيادة الاستفادة من البيانات المتعددة الاستخدامات في نظم المعلومات الجغرافية.

- ✓ **أنواع البيانات والمعلومات المستخدمة في نظم المعلومات الجغرافية :**

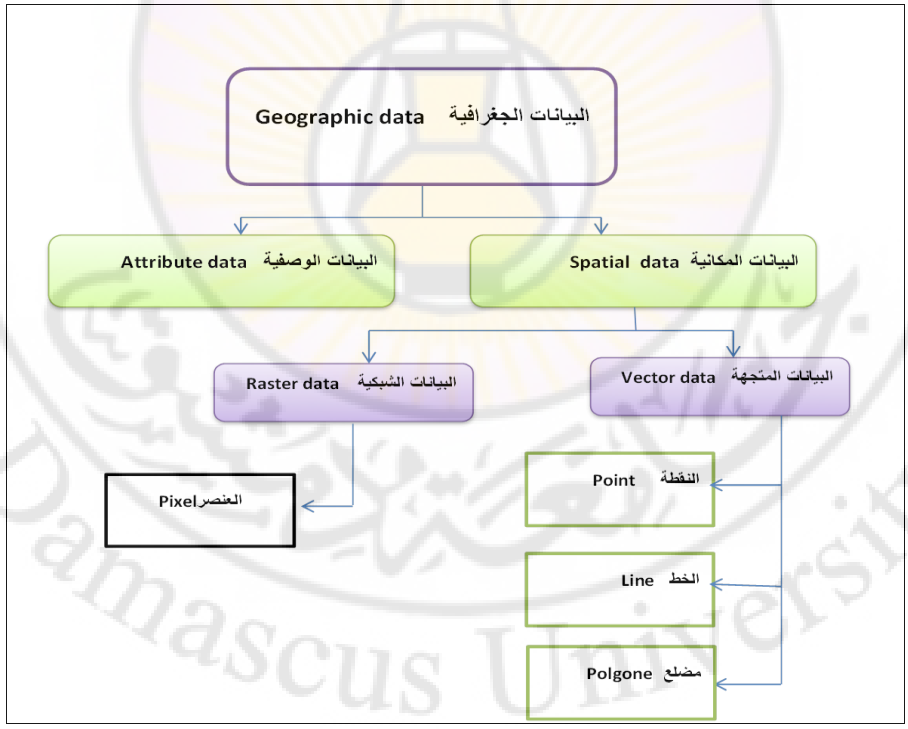
صُمّمت نظم المعلومات الجغرافية لتقوم بتجميع ورصد،وتخزين واسترجاع ومعالجة وتحليل وعرض للبيانات المرتبطة بالمكان الجغرافي أي إنّ هذه النظم صُممت خصيصاً لإدارة البيانات المرتبطة بالمكان، أي إنّ البيانات هي أساس نظام المعلومات الجغرافية وتُعدّ العنصر الأكثر كلفة حيث يتطلب جمعها الكثير من الجهد والوقت؛ كما تتطلب معايير متعددة لتقييمها من حيث الدقة والموثوقية لأن ذلك يُعدّ الأساس في نجاح أي

نظام معلومات جغرافية. تقسم البيانات في نظم المعلومات الجغرافية من حيث التخزين إلى نوعين هما (**الشكل** 6):

• **بيانات مكانية**: (Spatial Data) تشمل البيانات الجغرافية التي تمثّل الطبيعة ويمكن الحصول عليها من الصور الجوية، وصور الأقمار الصناعية، والخرائط الرقمية (Arial Photos, Satellite Images, Digital Maps) والمسح الحقلي.

• **بيانات وصفية (جدولية)** : (Tabular Data) وهي تشمل بيانات الجداول و الإحصاءات المختلفة عن عناصر جغرافية يمكن تمثيلها بالطبيعة.

إنّ البيانات الجغرافية وبيانات الجداول المتعلقة بها يمكن تجميعُها ذاتياً أو شراؤها من أحد مصادر بيع البيانات.



شكل (6) **أنواع البيانات في نظم المعلومات الجغرافية**

أولاً: البيانات المكانية:

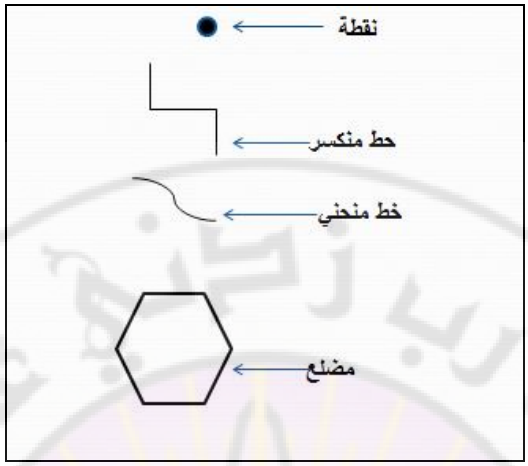
تُعدّ البيانات المكانية أساس نظم المعلومات الجغرافية.

تقسم حسب طريقة تخزينها إلى نوعين هما:

1. **البيانات المتجهة (الخطية) Vector Data**
2. **البيانات الشبكية Raster data**

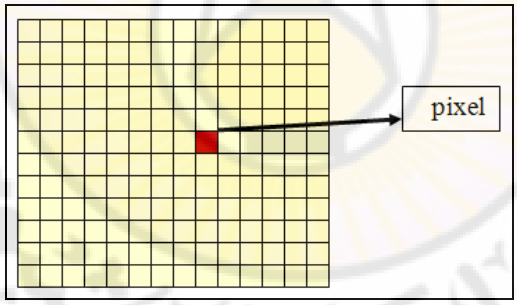
1.**البيانات المتجهة**: هي صيغ لتمثيل البيانات المكانية بتراكيب أساسية تُدعى المكونات المكانية البسيطة وهي النقطة والخط والمساحة. وتُخزّن على أساس إحداثياتها، (x.y) في عمودين من البيانات، وهي تقدم معلومات عن موقع الظاهرة وشكلها إضافة إلى العلاقات بين المظاهر الجغرافية (انظر **الشكل** 7).

- **النقطة (Point)** تمثل ظاهرة جغرافية متمركزة في مكان محدد، تُعرّف بإحداثياتها (x.y)، تُخزّن كظاهرة بلا أبعاد(D-0) تحدد مواقع الظواهر. على سبيل المثال شجرة، ومدرسة، وبئر، وعمود كهرباء وغيرها.
- **الخط (Line)** يمثل المظاهر التي تمتد في الطبيعة بشكلٍ طوليٍّ قد تتكون من نقطتين على الأقل. ويُخزّن الخط كظاهرة ذات بعد واحد هو الطول (D-1) لذا فإن دقة تمثيل ظاهرة ما تعتمد على عدد النقاط الموجودة على الخط، فكلما زاد عدد النقاط التي تشكل الخط زادت الدقة. مثال على المظاهر الخطية في الطبيعة الطرق، والأنهار، والسكك الحديدية وغيرها، تُخزّن في نظم المعلومات الجغرافية على شكل سلسلة من النقاط كل نقطة لها إحداثياتها (x,z- x1, y1 x2,y2).
- **المساحة (المضلع) (Polygone) Area** تمثل المظاهر التي تمتد في الطبيعة على مساحة معينة كالأراضي المزروعة بالمحاصيل، أنواع الترب، والبحيرات والمستنقعات وغيرها، وتُمثّل على شكل مضلع (ببعدين هما الطول والعرض D-2 (خط منحني مغلق)، وتُخزّن على شكل سلسلة من الإحداثيات، بحيث تكون إحداثيات البداية هي إحداثيات نقطة النهاية نفسها.



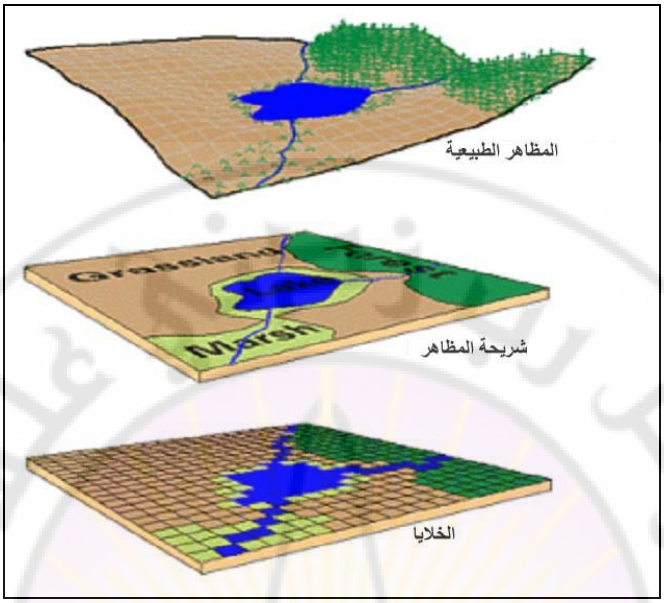
شكل (7) أنواع البيانات المكانية المتجهة

2: **البيانات الشبكية Raster data** : معلومات جغرافية تُمثّل على شكل شبكة أو مصفوفة ذات بعدين من الخلايا الصغيرة تُدعى عناصر أو Pixels أو تسمى عنصر الصور، Picture Element (انظر **الشكل** 8).



شكل (8) عناصر الصورة

لكل بيكسل قيمة عددية تعكس نوع الظاهرة المقابلة له ويتم تحديد البيكسل برقم السطر Row والعمود Columm في الصورة مثال على هذا النوع من البيانات صور الأقمار الصناعية حيث تمثل قيمة البيكسل قيمة الإشعاع الممتص من قبل الظاهرة ويعبر عنه بالعدد الرقمي Digital Number. هذه القيم تكون دائماً قيماً موجبة وأعداداً صحيحة (انظر **الشكل** 9).



شكل (9) البيانات المكانية في نظم المعلومات الجغرافية

ثانياً: البيانات الوصفية :

يقصد بالبيانات الوصفية المعلومات الكتابية التي تعبر عن الصفات والحقائق الخاصة بالبيانات المكانية، والبعض يقول إنها بيانات جدولية ونصية تصف الخصائص الجغرافية للمظاهر الموجودة من مثل اسم الشارع، واسم المنطقة ومساحتها، ومالكها ونوع الطريق وطوله وغير ذلك. وهي تجيب عن سؤال (What is it ?). تُخزّن على شكل أعمدة وسطور قد تكون معلومات نصية أو أعداداً، وتعطي معلومات عن طبيعة الظاهرة ونوعيتها كل شريحة متجهة يجب أن يرتبط بها جدول خاص بها هذه الجداول ترتبط بالبيانات المكانية من خلال رقم تعريف الظاهرة ID يتم تخزين هذه البيانات في أعمدة (خانات) تبين السطور الخصائص الوصفية لكل ظاهرة.

جدول(2) نموذج البيانات الوصفية

ID	اسم الشجرة	عمرها/ سنة	ارتفاعها /م
1	أرز	50	35
2	صنوبر	15	20
3	حور	10	6

5-2 المستخدم أو العنصر البشري (People, User)

إن قيمة تقانة نظم المعلومات الجغرافية محدودة بدون الأفراد الذين يقومون بإدارة النظام وخلق خطط لتطبيقها على مشكلات الواقع . ويندرج مستخدمو نظم معلومات الجغرافية من المتخصصين التقنيين الذين يصممون ويطورون النظام، تحت هؤلاء الذين يستخدمونه في أداء أعمالهم اليومية. ويمكن تقسيم العنصر البشري إلى عناصر فنية وعناصر تقوم بالتحليل وأخرى متخصصة بالحاسوب الآلي (انظر **الشكل** 10) موضحة بالترتيب الآتي :

1. **مدير النظام – System Manager**: تقع على عاتقه مهمة اختيار العناصر البشرية الأخرى، وإدارة العمل على النظم الموجودة، والتعامل مع مصممي المشاريع، والجهات المستفيدة منها. ولذلك يجب أن يتمتع مدير النظام بمعرفة واسعة كافية في مجال نظم المعلومات الجغرافية وتطبيقاتها، إلى جانب معرفته المباشرة بمواصفات برمجيات نظم المعلومات الجغرافية المتوفرة في مؤسسته وإمكانياتها. وإحاطته بمعرفة جيدة في العلوم المكانية عموماً، والجغرافية خصوصاً. حيث تكون هذه المعرفة ضرورية لاستيعاب المسألة المطروحة، ومعرفة البيانات التي يجب التعامل معها، وإعطاء كل منها ما تستحقه من وزن وأهمية .

2. **مُدخل البيانات والمعلومات** : شخص ذو خبرة تقنية، يجيد التعامل مع أجهزة إدخال البيانات، وتخزينها بالصيغ البرمجية المناسبة للعمل، ينفذ عادة خطة

الإدخال التي تطلب منه، ويمكن أن يظهر التخصص بين مدخلي البيانات، وذلك حسب طبيعة البيانات نفسها، أو الشكل الذي ستُدخل به :

- ترقيم من لوحة الترقيم – Digitizer،
- ترقيم من الشاشة On screen digitizing.
- عملية مسح لصور أو خرائط ومخططات، أو لنصوص وأرقام، ثم قراءتها آلياً...

كما يمكن أن تتضمن عملية الترقيم، وتشكيل قاعدة البيانات، نقل معلومات وبيانات رقمية جاهزة أو شبه جاهزة، من مصادر مختلفة، وبصيغ برمجية مختلفة، ويتطلب الأمر في هذه الحالة دراية كافية بالصيغ البرمجية للملفات، وكيفية توحيدها في قاعدة البيانات الخاصة بالمشروع، بما يؤمن توافقية بينها، تسمح بالاستفادة منها بالشكل المطلوب .

وتُعدّ عملية ترقيم المخططات والخرائط أكثر المهام تكراراً في بناء قواعد البيانات الجغرافية، ولذلك يجب إعداد مدخلين لهذا النمط من البيانات، بحيث تؤدى عملية الترقيم بالشكل المطلوب، ولا سيما ما يتعلق بدقة البيانات المدخلة وإرجاعها الجغرافي. أما تشكيل قاعدة البيانات الجغرافية ضمن برنامج المعلومات الجغرافية بإضافة البيانات الجدولية، فتُعدّ عملية أقل تعقيداً، وتأتي في المرحلة اللاحقة لعملية ترقيم الخرائط والمخططات – Digitizing، وتحويلها إلى شرائح –Layers، حيث يمكن إسناد هذه المهمة لفنيين أقل خبرة.

3. **مدير قواعد البيانات**: إن وجود شخص على معرفة جيدة بقواعد البيانات والمعلومات الجغرافية عموماً، والبيانات المدخلة لتنفيذ المشروع المطلوب، ضروري من أجل إدارة هذه البيانات، والتأكد من كفايتها ودقتها، بعد التأكد من سلامة عمليات إدخالها ودقتها. كما يتوجب على مدير قواعد البيانات تصنيفها، واستخراج بيانات جديدة

منهـا، اعتمـاداً علـى علاقـات رياضـية، كمـا يـؤدي تحليـل الشـرائح وتراكبهـا، إلى ظهـور معطيات جديدة في قاعدة البيانات.

وأخيراً فإن على مدير قواعد البيانات استيعاب المزايا التي تمتلكها برامج نظم المعلومات الجغرافية بما يتعلق بقواعد البيانات وكيفية إنشاء البيانات الجديدة، واستثمار البرمجة المفتوحة في النظام لتطويره بما يتناسب مع حاجة المشروع .كما يجب أن يتمتع بالقدرة على تدريب العاملين في مجال الإدخال على عملهم، ورفع درجة كفاءتهم.

4. **مستثمر النظام (محلل المعلومات)** : هو الشخص الذي تناط به مهمة تحليل البيانات والمعلومات المختلفة، وعمليات الربط والمقارنة وسواها من العمليات الكثيرة التي تنفذها نظم المعلومات الجغرافية، بغرض الوصول إلى حلول للمسائل المطروحة في المشروع، و يطلق البعض على مستثمر النظام اسم محلل النظم، حيث يجب أن يكون على دراية كافية بمزايا النظام الذي يعمل عليه، وقادراً على استثمار هذه المزايا بسهولة، ولا سيما بتحويل المسائل المطروحة للحل إلى جملة من الأوامر البرمجية التي يستطيع النظام القيام بها مباشرة، أو بعد القيام بعمليات برمجية محدودة، مثل عمليات التحليل المكاني، وبناء النماذج، وتطبيق علاقات رياضية على قواعد البيانات الجغرافية.

5. **متخصص برمجة** : قد لا يفي برنامج نظم المعلومات الجغرافية المستخدم بالمتطلبات كلها التي يفرضها المشروع، مما يستدعي القيام ببعض الإضافات البرمجية، التي تسمح معظم برمجيات نظم المعلومات الجغرافية القيام بها، بحيث تخدم الإضافات البرمجية الحاجات التي يتطلبها كل مشروع على حدة. ويدخل في واجبات المبرمج حل المسائل البرمجية الناجمة عن استعمال أكثر من نظام برمجي، وتحويل البيانات بين البرامج المختلفة، ويتطلب ذلك دراية كافية بأنماط تخزين البيانات وصيغها البرمجية.

6. **اختصاصي الخرائط (الكارتوغرافي)** : يجب أن يتمتع الكارتوغرافي بمعرفة المزايا الكارتوغرافية التي يمتلكها النظام، من حيث الربط الإحداثي، وتحديد المسقط، والتحويل بين المساقط الجغرافية المختلفة، وتحديد المقياس بدقة وتعديله آلياً مع كل عملية

تكبير وتصغير، إضافة إلى خبرة جيدة في مجال تصميم الخرائط الرقمية وتنفيذها، من حيث استخدامه للأساليب الكارتوغرافية المختلفة في التصنيف والتصميم، واختياره للرموز والألوان المناسبة، وكتابة المسميات والتعليقات، وإضافة الأشكال والرسوم البيانية المكملة، وإعطاء المخرجات الكارتوغرافية للنظام الصورة اللائقة من حيث الشكل والمضمون.

إن مهمة الكارتوغرافي ضمن مجموعة العمل لا تقتصر على مرحلة إخراج النتائج، بل تبدأ في مرحلة الإدخال، فلا بد من التأكد من الدقة الكارتوغرافية التي تمتلكها الوثائق المدخلة، سواءً كانت خرائط أم مخططات أم صوراً جوية وفضائية، والربط الجغرافي لها بإحداثيات صحيحة، ومقياس محدد حيث تنعكس هذه الدقة على المشروع كله وموثوقيته ودقته، ولاسيما إذا كانت الخرائط والمخططات الناتجة تفصيلية، وقد تعتمد في مراحل التنفيذ الميداني. كما تُعدّ مهمة توحيد المقاييس وتوحيد المسقط المستخدم وتوحيد نظام الإحداثيات على المدخلات والمخرجات المكانية كلها (المخططات والصور والخرائط) واحدة من المهام الأساسية التي تقع على عاتق الكارتوغرافي.

7. **فني التجهيزات الحاسوبية** : إن ضمان سلامة عمل التجهيزات الحاسوبية، سواءً كانت أجهزة إدخال أم تخزين ومعالجة أم إخراج ضروري طيلة مدة العمل على النظام لإنجاز مشروع معين، ولذلك فإن عمل فني التجهيزات ضروري في مراحل العمل كله. ويجب أن يتمتع الفني بخبرة كافية في مجال تشغيل التجهيزات الحاسوبية وبرمجة عملها وصيانتها، وقد يكون مسؤولاً عن الاتصال بجهات الدعم الفني والصيانة المختصة، ولا سيما إذا كانت التجهيزات الموجودة في مرحلة الضمان الفني، أو تم التعاقد على صيانتها مع جهة خارجية. مع تأكيد أن حل المشكلات الفنية السريعة والبسيطة يجب أن ينفذها هذا الفني مباشرة، ويُطلب الدعم الفني في الحالات التي تستدعي ذلك. والنقطة المهمة في هذا المجال، هي تأمين استمرارية العمل، وعدم انقطاعه مدةً قد تؤخر البرنامج الزمني لتنفيذ المشروع .

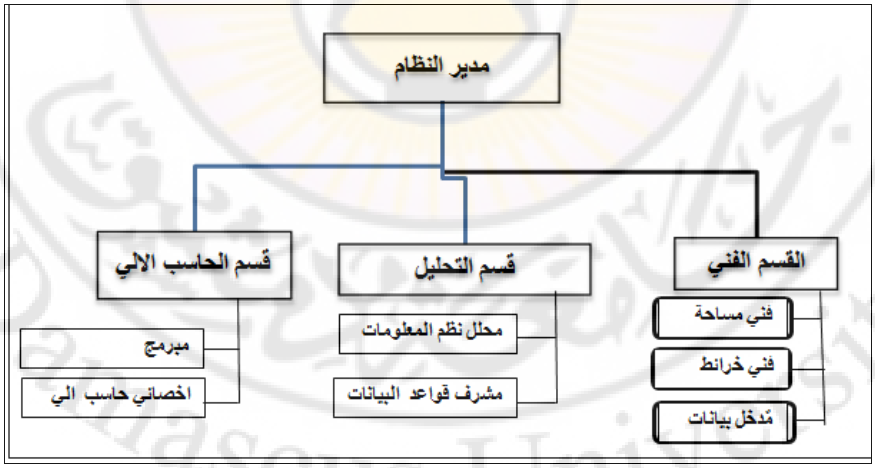
8. **التأهيل والتدريب** : يعتمد نجاح العمل بنظم المعلومات الجغرافية على الجوانب الآتية:

1. وعي المسائل المطروحة للحل، بجوانبها كلها.
2. سعة الأفق العلمي عموماً، والجغرافي خصوصاً لمدير المشروع، ومنفذيه
3. المعرفة الجيدة بمزايا النظام المعتمد في العمل وإمكاناته
4. استثمار إمكانات النظام، وتطوير الجوانب الهشة منه، بما يخدم الحل المطلوب.

ومن هذا المنطلق فإن عمليات التأهيل والتدريب للعناصر المشاركة، يجب أن تأخذ بالاعتبار مهمة كل عنصر، وخلفيته العلمية والمعرفية، ومدى خدمتها للعمل بنظم المعلومات الجغرافية. وقد يتم اختصار عدد الأشخاص العاملين على النظام في مشروع ما، فيقوم شخص واحد بالإدارة والإدخال والمعالجة والإخراج، بسبب صغر المشروع أحياناً، وبسبب عدم توفر الإمكانات أو الكوادر المدربة أحياناً أخرى. ويعاني العمل الفردي في نظم المعلومات الجغرافية جوانب نقص واضحة، إذ إنّ من النادر امتلاك شخص واحد لصفات كل العناصر المتخصصة التي تشارك في العمل بهذه النظم ودرجة تأهيلها. ويصادف في كثير من الأعمال، تنفيذ تنقصه جوانب أساسية أحياناً، كتلك المتعلقة بالإحاطة بجوانب المسألة المطروحة، أو تلك المتعلقة بدقة البيانات أو دقة إدخالها وربطها جغرافياً، وضبط مقياسها، أو تلك الجوانب الكارتوغرافية المتعلقة بتصميم الخرائط والأشكال البيانية وإخراجها، ومدى ملاءمتها من حيث الشكل والمضمون للموضوع المطروح للحل. هذا كله يظهر أهمية العمل ضمن فريق يديره صاحب التخصص في المسألة المكانية المطروحة، كونه القادر على فهم المسألة ومحدداتها، وعلى تقدير مدى صلاحية الحل الذي يتم التوصل إليه، ويسهم في العمل متخصصون آخرون في الجوانب العلمية ذات العلاقة، ومدخلو البيانات ومحللو النظم ومصممو الخرائط، إضافة إلى العناصر الفنية الأخرى المذكورة في هذا الفصل .

التدريب المستمر : تتميز برمجيات نظم المعلومات الجغرافية باتساعها وتشعبها، ولذلك فإن استيعاب الأدوات المتاحة فيها كلها، وتذكر استعمالها في المكان والوقت المناسبين، يُعدّ مهمة شاقة، تتطلب استمرار التدرب على البرمجيات، ومراجعة التعليمات المرفقة بها، والتمارين والعروض التي تظهر بعض الأمثلة النموذجية. هذا من جهة. ومن جهة أخرى فإن تطوير برامج نظم المعلومات الجغرافية باستمرار، وإصدار نسخ جديدة مطورة منها بشكل دوري سنوي أو شبه سنوي، يدعو مستخدمي هذه الأنظمة إلى الاطلاع على الجوانب الجديدة، والتدرب على استخدامها .

ومن جهة أخرى فإن سماح الكثير من برمجيات نظم المعلومات الجغرافية ببرمجة عمليات جديدة فيها، تُعدّ بمنزلة تطوير للبرمجية، يجعل من مهمة التدريب والتأهيل، في مستوى عالٍ من استيعاب برمجيات هذه النظم، تأخذها الجهة المستثمرة للنظام على عاتقها، سواءً من حيث تدريب عناصر الجهة نفسها، أم تعميم التجربة على جهات أخرى، تستخدم النظام نفسه (انظر **الشكل** 10).



شكل (10) **العنصر البشري في نظم المعلومات الجغرافية**

2-6: الإجراءات و التحاليل (Procedures، Analysis):

إن نظام المعلومات الجغرافية الناجح هو الذي يعمل على أساس خطة جيدة التصميم وقواعد عمل هي النماذج والممارسات العملية المتخصصة لكل مؤسسة. ومن الأمثلة للوسائل التحليلية تطبيق الوظائف الخاصة بالعلوم مثل المناخ أو الهيدرولوجي أو التخطيط العمراني من خلال نظم المعلومات الجغرافية، أو تطبيق وسائل ضبط الجودة (Quality Control) للتأكد من دقة إدخال البيانات، أو عمل تحليلات للشبكات (Network Analysis) أو غيرها من الوسائل التحليلية التي تخدم التطبيقات المختلفة. على سبيل المثال لا الحصر نورد بعض الأمثلة عن تأثير الوظائف العلمية التحليلية في نظم المعلومات الجغرافية فيما يلي:

- يطبق علم المياه بجزأيه السطحي و الجوفي وعلم الأرصاد الجوية لتصبح هذه العلوم جزءاً من التحاليل المكانية المنفذة داخل برمجيات نظم المعلومات الجغرافية، فنجد أدوات تحليل مكاني تختص بعلم المياه السطحية والجوفية مثلاً تغني هذا النظام وتجعله أكثر فائدة وقوة. ومن ناحية أخرى فإن هذه العلوم تقدم نماذج لقواعد البيانات (Database Models) تمكن الباحث في أي مشروع نظم معلومات جغرافية متكامل من أن يستفيد من نماذج قواعد البيانات الجغرافية العالمية تلك والمنشأة من قبل مختصين توفر للباحثين و المهتمين نموذجاً بيانياً من قاعدة بيانات جغرافية تختص بمجالات عدة حسب ما يحتاج إليه كل مشروع من طبقات بيانات جغرافية و قواعد بيانات مرتبطة بها (من مثل نماذج قواعد بيانات لإنشاء مكب نفايات، وإنشاء مصنع بتروكيماويات، وشبكات تصميم شبكة السيول والأمطار وغيرها).
- إن معايير الضبط المستخدمة في نظم المعلومات الجغرافية مستقاة من إجراءات علمية تمكن من التحقق من ضبط جودة البيانات من حيث دقتها و صحتها و انسجامها داخل قواعد البيانات المكانية و ذلك من خلال علم الطبولوجيا

(Topology) وهو بدوره فرع من فروع الرياضيات يدرس العلاقات المكانية فيما بين المظاهر الجغرافية.

- المعادلات الرياضية المنفذة بخطوات متتابعة، الخوارزميات (Algorithm)، تُوظّف داخل برمجيات نظم المعلومات الجغرافية بطريقة تمكن من حل العديد من الاستفسارات المكانية على الشبكات الخطية أو على الأشكال المساحية التي يبنى لها نظام طبولوجي.

تختلف مكونات نظم المعلومات الجغرافية من حيث كلفتها وعمرها الزمني، فالبيانات هي الأكثر كلفة والأطول عمراً بين المكونات، تليها البرمجيات ثم المعدات (انظر **الشكل** 11).

شكل (11) كلفة بعض مكونات نظم المعلومات مع العمر الزمني لكل منها

2-7 وظائف نظام المعلومات الجغرافية وتطبيقاته:

تتعدد وظائف نظم المعلومات الجغرافية وتتنوع تطبيقاتها فمن أهم وظائفها ما يلي:

- **عمليات التحليل** (Analysis):

من عمليات التحليل التي يمكن تنفيذها باستخدام أنظمة المعلومات الجغرافية:

1.**التحليل التقريبي** (Proximity Analysis):

تحديد العقارات التي تبعد عن طريق معينة مسافة معينة (حرم الطريق BUFFER). أو تحديد المسافات التي تبعد عن خط توتر عالٍ أو المسافة التي تبعد عن مجرى نهر معين.

2.**تحليل الشبكات** (**Network Analysis**):

تستخدم لتحديد المسارات بين مناطق معينة حسب شروط معينة (المسار بين موقع حادث ومشفى).

3.**معالجة البيانات المكانية** (**Spatial Data Processing**)

توفر برمجيات نظام المعلومات الجغرافية وظائف تقليدية عدة لمعالجة البيانات المكانية وتحليلها، وهي استرجاع المعلومات، والقياس المكاني، والتراكب، والتوليد المكاني، وإنشاء الحريم أو (الحاجز) والممرات، وتحليل الشبكة، وإسقاط الخريطة، وتحليل نموذج التضاريس الرقمي. وسنلقي في هذه الدراسة نظرة سريعة على كل وظيفة من هذه الوظائف التي توضح الأسباب التي جعلت من نظام المعلومات الجغرافية يزداد أهمية يوماً بعد يوم، في مساعدة صانعي القرار على اتخاذ قراراتهم بسرعة ودقة.

4.**استرجاع المعلومات**:(**Information Retrieval**)

يستطيع المستخدم الحصول على المعلومات الخاصة بمعلم من معالم الخريطة من نظام إدارة قواعد البيانات الذي يحتفظ بتلك المعلومات، وذلك بالنقر على ذلك المعلم. وما يزيد من أهمية نظام المعلومات الجغرافية قدرته على إنشاء تقارير مخصصة بالمعلومات التي يسترجعها المستخدم.

5.إنتاج الخرائط الموضوعية :(Thematic Mapping)

يستطيع نظام المعلومات الجغرافية إنتاج خرائط موضوعية للمظاهر الجغرافية، ويعني ذلك إظهار السمات أو البيانات الوصفية في أسلوب رسومي، ويؤدي تغيير شكل المظهر إلى جعل المعلومات أوضح، بتغيير لون الظاهرة أو نمط الخط المرسوم بها أو ترميزها برمز خاص، أو حتى كتابة إحدى قيم البيانات الوصفية لكل مظهر من المظاهر في الخريطة. يمكن مثلاً استخدام دوائر أكبر لترميز المدن ذات عدد السكان الأكبر، أو استخدام خطوط عريضة لترميز الطرق ذات الكثافة المرورية العالية، أو استخدام اللون الأزرق للمظاهر المائية .

6.القياس المكاني :(Spatial Measurement)

يسهل نظام المعلومات الجغرافية أداء القياسات المكانية، وقد تكون هذه القياسات بسيطة مثل قياس مسافة بين نقطتين وقياس مساحة مضلع أو طول خط، ويمكن أن تكون معقدة مثل قياس مساحة المنطقة المشتركة بين مضلعات عدة موجودة في خرائط عديدة.

7. المطابقة المكانية (التراكب Overlay)

وهو إجراء مهم في تحليل نظم المعلومات الجغرافية، ويتطلب تركيب طبقتين أو أكثر لإنتاج طبقة جديدة على الخريطة. من أمثلة على التراكب: ينمو نوع من القمح المعدل وراثياً أفضل ما ينمو في البيئة الجافة في فصول النمو الطويلة والتربة القلوية. فإذا توفرت بيانات كافية عن طول فصل النمو ونظام الرطوبة وقلوية التربة في منطقة زراعية مترامية الأطراف فما أفضل مكان لزراعة ذلك النوع من القمح؟ الجواب يمكن معرفة أفضل مكان لزراعة ذلك النوع من القمح بتركيب طبقات (خرائط) عدة لتلك المنطقة تُظهر أولاها المخزون المائي وتبيّن الأخرى طول فصل النمو، بينما تتضمن الثالثة معلومات عن درجة حموضة التربة (PH). ويستطيع نظام المعلومات الجغرافية اختبار تلك

الطبقات معاً لإنشاء طبقة جديدة تمثل أجزاء محددة من المنطقة الزراعية تفي بشروط التربة المناسبة لنمو ذلك النوع من القمح كلها.

8.**الاستكمال المكاني :(Spatial Interpolation)**

يمكن استخدام نظام المعلومات الجغرافية لدراسة خصائص التضاريس أو الشروط البيئية من عدد محدود من القياسات الحقلية. على سبيل المثال يمكن إنشاء خريطة الهطول المطري انطلاقاً من عدد محدود من القياسات المطرية المأخوذة في مواقع مختلفة على الخريطة، كما يمكن إنشاء خريطة التضاريس انطلاقاً من عدد محدود من قياسات الارتفاع في الخريطة. ومن البديهي أن تتوقف دقة البيانات المولّدة على عدد القياسات المأخوذة.

أما **تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية** فتتنوع وتتعدد حيث لا نجد في وقتنا الحاضر مجالاً إلا ويمكن استخدام نظم المعلومات الجغرافية فيه. حيث تُعدّ أنظمة المعلومات الجغرافية من أقوى الأنظمة المستخدمة في دعم القرارات، وتسهيل الحصول على المعلومات، وتحليلها وتقديم نماذج تصلح للدراسة ومعرفة تأثير أي قرار قبل تنفيذه، مما أدى إلى انتشار هذه التطبيقات في العديد من المجالات، ومن هذه التطبيقات ما يأتي:

1. **الحكومة الإلكترونية**

تُعدّ أنظمة المعلومات الجغرافية ضرورية جداً من أجل نشر المعلومات وتبادلها بين مختلف الجهات الحكومية لتسهيل تقديم المعلومات من خلال شبكة الانترنت.

2. **التخطيط الحضري**

تدعم أنظمة المعلومات الجغرافية تخطيط الاستفادة من الأراضي، وآلية توزيع السكان، بالإضافة إلى تحديد أفضل المواقع لتقديم الخدمات الجديدة، وطرق توزيع الخدمات الحالية، وحرصت نظم المعلومات الجغرافية على تقديم الدعم للمشاريع المتعلقة بالتخطيط الحضري، بالاعتماد على معايير عالمية متخصصة في هذا المجال.

3. **الخدمات**

يوظف المختصون نظم المعلومات الجغرافية من أجل متابعة أعمال الصيانة، وتقديم الشكاوى، وتحليل البيانات، وتقديم تقارير الإنجاز، من أجل الاستفادة من قدرات نظم المعلومات على زيادة مستوى الخدمات المقدمة للمستفيدين؛ مثل: خدمات الكهرباء.

4. **المياه والصرف الصحي**

تخطط نظم المعلومات الجغرافية وتدير شبكات المياه والصرف الصحي، وأعمال الصيانة، بالإضافة إلى تطوير النماذج الهيدروليكية لإظهار أي تغيرات تحدث على الشبكة، وتقديم الحلول المناسبة والمتطورة لخدمات المشتركين، وأفضل الطرق لتوزيع هذه الخدمات.

5. **الارتباط الحي والمباشر بقواعد البيانات**

يتعلق الارتباط الحي والمباشر بقواعد البيانات بتوفير تقانات متطورة ودقيقة تعرض البيانات بسرعة عند الضرورة وفي أوقات الطوارئ، وطباعتها لاستخدامها في الميدان لأخذ القرارات.

6. **أنظمة تتبع المركبات**

تساهم هذه الأنظمة في تتبع المركبات بطريقة دقيقة وتفصيلية من أجل جمع معلومات كافية عن المركبات، ومعرفة مكانها والسرعة التي كانت تسير بها خلال نهاية اليوم أو في أثناء فترة زمنية محددة، وتحديد نطاق العمل المخصص لكل مركبة.

7. **النقل والمواصلات**

النقل والمواصلات واحد من أهم تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية، حيث يقوم على دراسة البيانات المتعلقة بالطرق وحالة تشغيلها وطرق توزيعها، وتقديم الكثير من الأفكار التي تساند قطاع النقل، بالإضافة إلى تصميم متطلبات الدراسات الخاصة بحوادث الطرق.

8. الرعاية الصحية

يستفيد القطاع الصحي من الخدمات التي تقدمها نظم المعلومات الجغرافية، من حيث تقديم معلومات متكاملة من الأنظمة والحلول لتطوير الرعاية الصحية، من مثل: توزيع المراكز الصحية بطريقة مناسبة بالاعتماد على الكثافة السكانية، وحاجة السكان لهذه المراكز، وتقديم معلومات تفصيلية لكل مركز من هذه المراكز، ووضع خطط التطوير المستقبلية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

فهرس مصطلحات الجزء الثاني

المصطلح الأجنبي	المصطلح العربي
A	
Algorithm	خوارزمية
Application	التطبيق
B	
Buffer	الحرم
C	
CAD System	أنظمة الرسم بمساعدة الحاسوب
Cartography	الكارتوغرافيا (علم الخرائط)
CD	قرص مدمج
Computer Cartography	كارتوغرافية الحاسوب
Curser	مؤشر
D	
Data base management system.	نظام إدارة قواعد البيانات
Data base Models	نماذج قواعد البيانات
Digital camera	آلة تصوير رقمية
Digital Maps	الخرائط الرقمية
Digital number	العدد الرقمي
Digitizer	مرقم
Digitizing	ترقيم
DVD	قرض عالي الكثافة

E	
ESRI	معهد أبحاث النظم البيئية
F	
Floppy	قرص مرن
G	
Geographic data	بيانات جغرافية
Geographic Information Systems	نظام المعلومات الجغرافية
GIS Enterprise	مشروع نظام معلومات جغرافية
Global position GPS System	نظام تحديد المواقع العالمي
Grid Cell	شبكة من الخلايا
H	
Hardware	المكونات المادية
Hard disc	القرص الصلب
I	
Input device	أجهزة الإدخال
Inkjet printer	طابعة نافثة للحبر
Internal hard disc	القرص الصلب الداخلي
K	
Keyboard	لوحة المفاتيح
L	
Landscape Architecture	هندسة المنظومة البيئية
Layer	طبقة
Line	خط
M	

Main frames	حواسب عملاقة
Modem	بطاقة الاتصالات
Modern information systems	نظم معلومات حديثة
Monitor	شاشة العرض
Mother board	لوحة الأم
Mouse	الفأرة
Multimedia	متعدد الوسائط
Multi-user management	إدارة متعددة المستخدمين
N	
Network Analysis	تحليل الشبكات
O	
Overlay	التراكب (المطابقة المكانية)
P	
Plotter	الراسمة
Pixel	عنصر الصورة
Point	نقطة
Printer	الطابعة
Polygon	مساحة
Procedure	الإجراء
Proximity Analysis	التحليل التقريبي
Q	
Quality control	ضبط الجودة
R	
Ram	ذاكرة مرنة

Relational database	قواعد البيانات العلائقية
Remote sensing	الاستشعار عن بعد
Resolution	الدقة
S	
Satellite images	صور فضائية
Scanner	الماسح الضوئي
Scanning	المسح بوساطة الماسح الضوئي
Software	المكونات البرمجية (البرمجيات)
Spatial data processing	معالجة البيانات الجغرافية
Spatial Interpolation	الاستكمال المكاني
Spatial Measurement	القياس المكاني
System manager	مدير النظام
T	
Tabular Data	بيانات جدولية
Thematic mapping	إنتاج الخرائط الموضوعية
Topological Relationships	العلاقات الطبولوجية
V	
Vector data	البيانات الخطية (المتجهة)

فهرس أشكال الجزء الثاني

الرقم	العنوان	الصفحة
.1	علاقة نظم المعلومات الجغرافية بالأنظمة الأخرى	345
.2	مكونات نظم المعلومات الجغرافية	349
.3	أجهزة الإدخال	355
.4	أجهزة العرض والإخراج	361
.5	الإمكانات المطلوبة في برمجيات نظم المعلومات الجغرافية	363
.6	أنواع البيانات في نظم المعلومات الجغرافية	369
.7	أنواع البيانات المكانية المتجهة	371
.8	عناصر الصورة	371
.9	البيانات المكانية في نظم المعلومات الجغرافية	372
.10	العنصر البشري في نظم المعلومات الجغرافية	378
.11	كلفة بعض مكونات نظم المعلومات مع العمر الزمني لكل منها	380

فهرس جداول الجزء الثاني

الرقم	العنوان	الصفحة
1	مواصفات المواسح	352
2	نموذج البيانات الوصفية	373

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مراجع الجزء الثاني

المراجع العربية

1. الخزامي عزيز، محمد: **نظم المعلومات الجغرافية، أساسيات وتطبيقات للجغرافيين**، دار المعارف، الاسكندرية، الطبعة الثانية، جمهورية مصر العربية، 2000 م .
2. جزماتي، سامح & ومقدسي، سامي: **أنظمة المعلومات الجغرافية**، دار الشرق العربي، 2006.
3. داوود، محمد جمعة: **الخرائط الرقمية**، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية، 2013.
4. داوود، محمد جمعة: **أسس التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية**، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية، 2012.
5. سنكري، يمان: **التحليل الإحصائي للبيانات المكانية في نظم المعلومات الجغرافية**، دار شعاع للنشر، 2008 .
6. الشمري، محمد صالح: **نظم المعلومات الجغرافية من البداية**، بغداد 2005

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المراجع الأجنبية

1. Arctur, David and Zeiler, Michael. Designing Geodatabases: Case Studies in GIS Data Modeling, ESRI Press.2004.
2. Butler, Allison J, Designing Geodatabases for Transportation, ESRI Press.2008.
3. Eastman, Ronald, Fulk ,Michele, and Toledano, James,"The GIS Handbook". Calrk University& Arizona University Washington.1993
4. Longley, Paul; Goodchild, Michael; Maguire, David; and Rhind David, Geographic Information Systems and Science, Second Edition , John Wiley & Sons and ESRI Press.2005.
5. Miller, Fred R..(2007) GIS Tutorial for Marketing, ESRI Press.2007
6. Mitchell, Andy, The ESRI Guide to GIS Analysis,Volume1 ,ESRI Press.1999.
7. Robinson, Arthur, Elements of Cartography . Washington .1999
8. Sommer, Shelly and Wade, Tasha, A to Z GIS: An Illustrated Dictionary of Geographic Information Systems,ESRI Press.2006.
9. Steede-Terry, Karen, Integrating GIS and the Global Positioning System , ESRI Press .2000.
10. Taylor D.R.F.; Maps and Mapping in the Information Era // proc. 18th. Inter. Cartographic con. ICA , Stockholm 1997.
11. Thomas, Christopher and Ospina, Milton, Measuring Up: The Business Case for GIS, ESRI Press.2004.

اللجنة العلمية: أ.د. ناظم عيسى

أ.د. فاتنة الشعال

أ.م.د. مريم عيسى

المدقق اللغوي: أ.د. زينب الشربجي

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات