

## أسس الإستشعار عن بعد



### لمحة عن المؤلف

من مواليد 1972 م، صنعاء، الجمهورية اليمنية.  
التخصص العلمي: تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.  
رئيس قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة صنعاء.  
أكمل أبحاث ما بعد الدكتوراه (Postdoctoral) وعمل محاضراً في كلية الهندسة، جامعة بوترا، ماليزيا.  
دكتوراه في النمذجة الرقمية لمرئيات الرادار - قسم نظم المعلومات الجغرافية والبيانات المكانية - كلية الهندسة - جامعة بوترا - ماليزيا - 2007.  
ماجستير في تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية - قسم نظم المعلومات الجغرافية والبيانات المكانية - كلية الهندسة - جامعة بوترا - ماليزيا - 2003.  
شارك في عدة مؤتمرات محلية ودولية.  
لديه عدة أبحاث غير منشورة وأخرى منشورة.  
مخبر في تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، التحليل الإحصائي المكاني، النمذجة الرقمية والمكانية، تحليل المرئيات الفضائية ومرئيات الرادار.  
لديه براءة ابتكار وميدالية فضية من مركز إدارة البحوث بجامعة بوترا ماليزيا في تحليل التيارات البحرية من مرئيات رادار (SAR)، في المعرض الذي نظمته جامعة بوترا للأبحاث العلمية خلال الفترة من 22 - 24 أغسطس 2006م.

# أسس الإستشعار عن بعد

## الجزء الأول

من سلسلة علوم الاستشعار عن بعد ومعالجة الصور الفضائية

الدكتور / محمد أحمد مياس

أستاذ الإستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية - المساعد

رئيس قسم الجغرافيا

كلية الآداب - جامعة صنعاء

الدكتور / محمد أحمد مياس

أستاذ الإستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية - المساعد

إن أهمية علم الاستشعار عن بعد في حياتنا العملية تتزايد يوماً بعد آخر، الأمر الذي يحتم علينا ضرورة الإلمام وزيادة المعرفة بهذا العلم الحديث والاستفادة منه في مختلف التطبيقات الطبيعية والبشرية والاقتصادية والبيئية، يحتوي هذا الكتاب على عشرة أبواب ويعتبر هذا الكتاب هو الجزء الأول من أربعة أجزاء، يتضمن الجزء الثاني "معالجة الصور الجوية والمرئيات الفضائية الرقمية"، أما الجزء الثالث فيتضمن "معالجة مرئيات الرادار"، ويبحث الجزء الرابع والأخير في "نظم المعلومات الجغرافية".

**أسس الإستشعار عن بعد**  
**Basics of Remote Sensing**





لَمَّا خَلَقَ السَّمَاوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا وَأَلْقَى فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ  
أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ شَيْءٍ وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً  
فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ شَيْءٍ زَوْجًا مِثْرًا

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

آية (10) سورة لقمان



# أسس الإستشعار عن بعد

د. محمد أحمد مياس

أستاذ الإستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية - المساعد  
رئيس قسم الجغرافيا - جامعة صنعاء

الطبعة الأولى

2013 م

رقم الإيداع بدار الكتب (2012/169)

الناشر

دار جامعة صنعاء للطباعة والنشر

الجمهورية اليمنية - صنعاء

## حقوق الطبع والنشر محفوظة للمؤلف

جميع الحقوق محفوظة ، ولا يجوز إعادة إصدار هذا الكتاب أو طباعة أي جزء منه، أو تخزينه، في أي شكل أو بأي وسيلة إلكترونية، بما في ذلك النسخ أو التصوير أو المسح الضوئي أو التسجيل أو التخزين والاسترجاع، كما لا يجوز تعديل المادة الموجودة في الكتاب أو تحويلها إلا بإذن كتابي صريح من المؤلف

أسم المؤلف: د. محمد أحمد مياس

رقم التليفون: +971 771200444

رقم صندوق البريد: 11898

الجمهورية اليمنية - صنعاء

البريد الإلكتروني: mmaiyas@gmail.com



إلى روح المغفور له بإذن الله تعالى  
والدي

الذي أزال الأشواق عن دربي ليمهد لي طريق العلم، وعلمني النجاح والصبر  
إلى من أفتقده في مواجعة الصعاب، ولم تمهله الدنيا لأرتوي من حنانه

إلى والدتي الفالية حفظها الله التي لا نرى الأمل إلا من عينيها

إلى زوجتي الفالية وأبنائي أزهار حياتي

إلى اخواني وأخواتي حفظهم الله

أهدي هذا الجهد المتواضع





## المحتويات

|    |                              |   |
|----|------------------------------|---|
| 21 | .....                        | مقدمة   |
| 23 | تطور علم الاستشعار عن بعد    | الباب الأول   |
| 26 | .....                        | 1.1 تعريف الاستشعار عن بعد                          |
| 28 | .....                        | 1.2 أهمية الاستشعار عن بعد                          |
| 31 | .....                        | 1.3 تطور علم الاستشعار عن بعد                       |
| 35 | .....                        | 1.4 خطوات الاستشعار عن بعد                          |
| 39 | خصائص الإشعاع الكهرومغناطيسي | الباب الثاني  |
| 42 | .....                        | 2.1 مكونات الإشعاع الكهرومغناطيسي                   |
| 48 | .....                        | 2.2 الطيف الكهرومغناطيسي                            |
| 49 | .....                        | 2.2.1 نطاق الراديو والموجة الدقيقة                  |
| 50 | .....                        | 2.2.2 نطاق الأشعة تحت الحمراء                       |
| 51 | .....                        | 2.2.3 نطاق الطيف المرئي                             |
| 53 | .....                        | 2.2.4 نطاق الأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية     |
| 56 | .....                        | 2.3 مصطلحات الإشعاع                                 |
| 57 | .....                        | 2.3.1 مفهوم زاوية الجسم الصلب                       |
| 59 | .....                        | 2.3.2 طاقة الإشعاع                                  |
| 59 | .....                        | 2.3.3 الدفق الإشعاعي                                |
| 59 | .....                        | 2.3.4 كثافة الدفق الإشعاعي                          |
| 61 | .....                        | 2.3.5 كثافة الدفق الإشعاعي الطيفي                   |
| 61 | .....                        | 2.3.6 شدة الإشعاع                                   |
| 61 | .....                        | 2.3.7 الإشعاع                                       |
| 64 | .....                        | 2.4 مصادر الطاقة الكهرومغناطيسية                    |
| 65 | .....                        | 2.4.1 إشعاع الجسم الأسود                            |
| 69 | .....                        | 2.5 تفاعل الطاقة الكهرومغناطيسية مع الغلاف الجوي    |
| 69 | .....                        | 2.5.1 التشتت (التبعثر)                              |
| 72 | .....                        | 2.5.1 الإمتصاص                                      |
| 74 | .....                        | 2.6 تفاعل الطاقة الكهرومغناطيسية مع مظاهر سطح الأرض |
| 76 | .....                        | 2.6.1 الانعكاس                                      |
| 78 | .....                        | 2.6.2 النفاذية                                      |
| 79 | .....                        | 2.6.3 الامتصاص                                      |
| 80 | .....                        | 2.7 خصائص الانعكاس والامتصاص                        |
| 80 | .....                        | 2.7.1 النباتات                                      |
| 83 | .....                        | 2.7.2 التربة  |
| 85 | .....                        | 2.7.3 المياه  |

|            |   |                     |
|------------|---|---------------------|
| <b>87</b>  | <b>خصائص الصور الجوية والمرئيات الفضائية</b>        | <b>الباب الثالث</b> |
| 93         | ..... خصائص مرئيات الاستشعار عن بعد                 | <b>3.1</b>          |
| 94         | ..... الدقة المكانية                                | 3.1.1               |
| 101        | ..... الدقة الطيفية                                 | 3.1.2               |
| 103        | ..... الدقة الإشعاعية                               | 3.1.3               |
| 108        | ..... الدقة الزمنية                                 | 3.1.4               |
| 109        | ..... عناصر تفسير الصور الجوية والمرئيات الفضائية   | <b>3.2</b>          |
| 109        | ..... الشكل   | 3.2.1               |
| 109        | ..... الحجم   | 3.2.2               |
| 110        | ..... النمط   | 3.2.3               |
| 112        | ..... الظلال  | 3.2.4               |
| 113        | ..... النسيج  | 3.2.5               |
| 114        | ..... درجة اللون                                    | 3.2.6               |
| <b>117</b> | <b>نظم التصوير الجوي والمساحة الجوية</b>            | <b>الباب الرابع</b> |
| 120        | ..... أفلام التصوير الجوي                           | <b>4.1</b>          |
| 121        | ..... الحساسية الطيفية لأفلام الصور الجوية          | 4.1.1               |
| 126        | ..... آلات التصوير الجوي                            | <b>4.2</b>          |
| 128        | ..... بؤرة عدسة التصوير                             | 4.2.1               |
| 131        | ..... الخصائص الهندسية للصور الجوية                 | <b>4.3</b>          |
| 135        | ..... التداخل الأمامي                               | 4.3.1               |
| 137        | ..... التداخل الجانبي                               | 4.3.2               |
| 138        | ..... مقياس الصور الجوية                            | <b>4.4</b>          |
| 140        | ..... مقياس رسم الصورة الجوية فوق أرض مستوية        | 4.4.1               |
| 143        | ..... مقياس رسم الصورة عند ارتفاع محدد              | 4.4.2               |
| 146        | ..... التغطية الأرضية في الصور الجوية               | <b>4.5</b>          |
| <b>149</b> | <b>مبادئ حركة الأقمار الصناعية</b>                  | <b>الباب الخامس</b> |
| 153        | ..... مبادئ حركة الأقمار الصناعية                   | <b>5.1</b>          |
| 153        | ..... قوانين كبلر                                   | 5.1.1               |
| 160        | ..... أنواع مدارات الأقمار الصناعية                 | <b>5.2</b>          |
| 161        | ..... مدار التزامن الأرضي                           | 5.2.1               |
| 163        | ..... مدار التزامن الشمسي                           | 5.2.2               |
| 165        | ..... اختيار المدار المناسب لأقمار الاستشعار عن بعد | <b>5.3</b>          |
| <b>167</b> | <b>نظم التصوير في المجسات الساتلية</b>              | <b>الباب السادس</b> |
| 169        | ..... تصنيف مجسات الاستشعار عن بعد                  | <b>6.1</b>          |





|     |   |                      |              |
|-----|---|----------------------|--------------|
| 318 | ..... قياس الأعماق                                  | 10.6.2               |              |
| 319 | ..... استخدام الأرض والتغير الأرضي                  |                      | <b>10.7</b>  |
| 322 | ..... التربة  |                      | <b>10.8</b>  |
| 324 | ..... رصد الكوارث                                   |                      | <b>10.9</b>  |
| 325 | ..... توقع الزلازل                                  | 10.9.1               |              |
| 326 | ..... الانفجارات البركانية                          | 10.9.2               |              |
| 326 | ..... الفيضانات                                     | 10.9.3               |              |
| 328 | ..... الإنزلاقات الأرضية                            | 10.9.4               |              |
| 328 | ..... حرائق الغابات                                 | 10.9.5               |              |
| 330 | ..... تسرب النفط                                    | 10.9.6               |              |
| 332 | ..... صناعة الخرائط                                 |                      | <b>10.10</b> |
| 333 | ..... التطبيقات العسكرية                            |                      | <b>10.11</b> |
| 337 |   | <b>المراجع</b>       |              |
| 343 |   | <b>الملاحق</b>       |              |
| 345 | أ. الشركات والوكالات المنتجة للمرئيات الفضائية      |                      |              |
| 348 | ب. المجلات والدوريات المهمة بأبحاث الاستشعار عن بعد |                      |              |
| 349 |   | <b>الرموز</b>        |              |
| 353 |   | <b>الصور الملونة</b> |              |

## محتوى الأشكال

|     |  |      |
|-----|--|------|
| 42  | مكونات الإشعاع الكهرومغناطيسي  | 2.1  |
| 45  | تساوي الطول الموجي والتردد والفترة واختلاف السعة لموجتين   | 2.2  |
| 46  | العلاقة بين الطول الموجي والتردد   | 2.3  |
| 50  | مرئية (RADARSAT-1) للساحل الشرقي لماليزيا  | 2.4  |
| 53  | مرئية فضائية للقمر الصناعي (IKONOS) تضم أربع قنوات تحتوى على أطيف الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء                         | 2.5  |
| 56  | القياسات النصف كروية وقياسات الاتجاه   | 2.6  |
| 58  | مخطط يوضح مفهوم الزاوية المستوية والزاوية الصلبة   | 2.7  |
| 60  | الدفق الإشعاعي للطاقة الكهرومغناطيسية المنعكسة من منطقة ما على سطح الأرض (A) في الاتجاه ( $\theta$ ) وبزاوية ( $\omega$ ). | 2.8  |
| 67  | منحنى توزيع الطاقة للأجسام السوداء   | 2.9  |
| 74  | تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع الظواهر على سطح الأرض  | 2.10 |
| 77  | الانعكاس المتناظر والانعكاس المنتشر  | 2.11 |
| 82  | منحنى الانعكاس المثالي للغطاء النباتي  | 2.12 |
| 84  | الانعكاس الطيفي لخمسة أنواع من المعادن   | 2.13 |
| 90  | مكونات الصورة الرقمية  | 3.1  |
| 91  | مقطع لمرئية فضائية تمثل الأعداد الرقمية لك بكسل  | 3.2  |
| 96  | مجال الرؤية الفوري (IFOV)  | 3.3  |
| 98  | العلاقة بين الدقة المكانية وحجم البكسل   | 3.4  |
| 107 | تدرجات اللون الرمادي في مرئية (Panchromatic) للقمر الصناعي (SPOT-HRV) لجزء من فلوريدا بالولايات المتحدة                    | 3.5  |
| 110 | تفسير المرئية الفضائية من خلال شكل الظاهرة   | 3.6  |
| 111 | تفسير المرئية الفضائية من خلال حجم الظاهرة   | 3.7  |
| 111 | تفسير المرئية الفضائية من خلال نمط الظاهرة   | 3.8  |
| 112 | تفسير المرئية الفضائية من خلال الظلال  | 3.9  |
| 113 | تفسير المرئية الفضائية من خلال نسيج الظاهرة  | 3.10 |
| 114 | تفسير المرئية الفضائية من خلال درجة لون الظاهرة  | 3.11 |
| 122 | مقارنة بين صورة جوية لفلم الأشعة تحت الحمراء (أبيض وأسود) وصورة جوية لفلم (Panchromatic)                                   | 4.1  |
| 123 | الحساسية الطيفية للفلم أحادي اللون (Panchromatic) وفلم الأشعة تحت الحمراء (أبيض وأسود)                                     | 4.2  |
| 127 | أجزاء آلة التصوير  | 4.3  |
| 129 | رسم توضيحي لعدسة كاميرا التصوير  | 4.4  |
| 132 | العلاقات الأساسية في هندسة الصور الجوية  | 4.5  |
| 135 | مخطط يوضح خط الطيران في التصوير الجوي  | 4.6  |
| 136 | التداخل الأمامي في الصور الجوية  | 4.7  |

|     |  |      |
|-----|--|------|
| 136 | صورتان جويتان بتداخل أمامي لبحيرة Watson في مقاطعة Yukon في كندا، تم التقاطهما في عام 1992م                    | 4.8  |
| 138 | التداخل الجانبي في الصور الجوية  | 4.9  |
| 141 | مقياس رسم الصور الجوية الرأسية فوق أرض مستوية  | 4.10 |
| 144 | مقياس رسم الصورة عند ارتفاع محدد   | 4.11 |
| 147 | صورتان جويتان مختلفتان في المقياس (A) مقياس كبير و (B) مقياس صغير  | 4.12 |
| 155 | موقع القمر الصناعي K في مداره الدائري حول الأرض  | 5.1  |
| 159 | موقع القمر الصناعي K في مداره الإهليجي حول الأرض   | 5.2  |
| 162 | مدار التزامن الشمسي والأرضي  | 5.3  |
| 171 | أنواع المجسات السالبة  | 6.1  |
| 172 | أنواع المجسات النشطة   | 6.2  |
| 174 | المكونات الرئيسية لنظام التصوير متعدد الأطياف  | 6.3  |
| 177 | نظام الإطار الكامل في مجسات الاستشعار عن بعد السالبة   | 6.4  |
| 178 | التصوير بنظام الماسح في مجسات الاستشعار عن بعد السالبة   | 6.5  |
| 179 | التصوير بنظام الماسح الخطي في مجسات الاستشعار عن بعد   | 6.6  |
| 186 | أنواع التشوهات الهندسية في المرئيات الفضائية   | 6.7  |
| 191 | مجموعة صور تم التقاطها بمجس (FLIR)   | 6.8  |
| 200 | القمر الصناعي (GOES)   | 7.1  |
| 209 | نمط المسح باستخدام ستة خطوط في الماسح الضوئي (MSS)   | 7.2  |
| 212 | الأبعاد الهندسية للقمر الصناعي (Landsat)   | 7.3  |
| 212 | التشوه الناتج من تعطل مرآة الماسح في القمر الصناعي Landsat-7   | 7.4  |
| 213 | القمران الصناعيان الهنديان Cartosat-2B و Resourcesat-2   | 7.5  |
| 214 | مرئية فضائية تم التقاطها بواسطة القمر الصناعي الهندي Resourcesat-2 تظهر الهرم الأكبر في مصر                    | 7.6  |
| 219 | القمر الصناعي WorldView-1  | 7.7  |
| 220 | مرئية فضائية لمدينة تايبيه في تايوان تم التقاطها بواسطة القمر الصناعي WorldView-1 بتاريخ 11 يناير 2008         | 7.8  |
| 230 | مكونات الرادار الرئيسية  | 8.1  |
| 238 | أنماط الإشعاع في هوائيات الأقمار الصناعية  | 8.2  |
| 239 | هوائي القطع المكافئ Parabolic Antenna  | 8.3  |
| 240 | الهوائي القرني   | 8.4  |
| 241 | هوائي الصفوف الجانبية  | 8.5  |
| 241 | هوائي الصفوف الجانبية لرادار (ASAR) في القمر (Envisat)   | 8.6  |
| 245 | أنواع الاستقطاب في نظم الرادار   | 8.7  |
| 247 | ثلاث مرئيات للرادار SIR-C/X-SAR مختلفة في طولها الموجي الاستقطاب في 10 أبريل 1994م لإقليم Rondonia في البرازيل | 8.8  |



|     |  |      |
|-----|--|------|
| 249 | شكل التشتت الإرتدادي لأشعة الرادار مع درجة خشونة السطح   | 8.9  |
| 252 | العناصر الرئيسية المكونة لهندسة الرادار  | 8.10 |
| 253 | تأثير زاوية السقوط وتضاريس المنطقة على نوعية تشتت أشعة الرادار   | 8.11 |
| 254 | تأثير زاوية السقوط على شكل الأهداف الظاهرة بمرئية الرادار  | 8.12 |
| 254 | تأثير زاوية السقوط على شكل الأهداف الظاهرة بمرئية الرادار  | 8.13 |
| 255 | العلاقة بين زاوية السقوط وزاوية الإنخفاض، والتماس  | 8.14 |
| 257 | مرئية RADARSAT-1 تم التقاطها في يوم 29 أكتوبر 1996م،<br>تظهر تأثير اتجاه مسار الرادار في شكل الظواهر على مرئية الرادار | 8.15 |
| 258 | طريقة ارسال واستقبال (SLR) للأشعة الكهرومغناطيسية  | 8.16 |
| 260 | نظم التصوير في (RAR)   | 8.17 |
| 264 | نظم التصوير في رادار (SAR)   | 8.18 |
| 266 | تشوه شكل ومساحة الأهداف على سطح الأرض في رادار (SLR)   | 8.19 |
| 268 | دقة المدى للأهداف الواقعة في المدى القريب والمدى البعيد  | 8.20 |
| 270 | دقة السمات للأهداف الواقعة في المدى القريب والمدى البعيد   | 8.21 |
| 274 | إزاحة التضاريس في مرئيات الرادار   | 8.22 |
| 275 | أنواع التشوهات في مرئيات الرادار   | 8.23 |
| 283 | مرئية سونار تظهر موقع سفينة سويدية غارقة على عمق 109 أقدام   | 8.24 |
| 289 | مرئية (Seasat) تم التقاطها في 26 يونيو 1978م فوق سطح البحر<br>في خليج المكسيك  | 9.1  |
| 291 | رسم تخطيطي يوضح المكون الفضائي (SIR-C/X-SAR) وهو يرسل<br>أشعة الرادار على مساحة من سطح الأرض                           | 9.2  |
| 292 | مرئية SIR-C تظهر بركان جزيرة ايزابيلا في جزر غالاباغوس   | 9.3  |
| 295 | القمر الصناعي ERS-1  | 9.4  |
| 297 | القمر الصناعي Envisat  | 9.5  |
| 300 | مرئية RADARSAT-1 في 21 سبتمبر 1998م تظهر معلومات عن<br>سطح البحر في خليج (Corodova) في آلاسكا                          | 9.6  |
| 302 | القمر الصناعي RADARSAT-2   | 9.7  |
| 303 | مرئية (JERS-1 SAR) لجبل فوجي باليابان في 1992م   | 9.8  |
| 320 | خارطة استخدام الأرض منتجة من مرئية (IKONOS)  | 10.1 |
| 322 | مرئية بانكروماتك للقمر الصناعي (SPOT-5)، تظهر أنواع التربة<br>في منطقة كوالا سلانجور بماليزيا                          | 10.2 |
| 329 | مرئية (GOES-8) توضح أعمدة دخان في غرب أمريكا   | 10.3 |
| 331 | مرئيات لأقمار مختلفة توضح تسرب النفط في خليج المكسيك   | 10.4 |

## محتوى الصور الملونة

| رقم<br>الصفحة |   | رقم<br>الصورة |
|---------------|---|---------------|
| 355           | الخطوات اللازمة لإنجاز عملية الاستشعار عن بعد   | 1             |
| 355           | أنواع المجسات المستخدمة في نظم الاستشعار عن بعد   | 2             |
| 356           | نطاقات الطيف الكهرومغناطيسي   | 3             |
| 356           | مرئية للمجس (MERIS) للقمر الصناعي (Envisat)   | 4             |
| 357           | الألوان الرئيسية الثلاثة  | 5             |
| 357           | تقسيم الضوء أثناء مروره بالمنشور  | 6             |
| 358           | مرئية فضائية بواسطة أشعة (Gamma) لحوض رسوبي في استرالي  | 7             |
| 358           | الإشعاع الشمسي في قمة الغلاف الجوي ومستوى سطح البحر   | 8             |
| 359           | امتصاص ونفاذية الأشعة الكهرومغناطيسية في النطاق الطيفي من $(0.1 \mu m)$ إلى $(30 \mu m)$ بواسطة غازات الغلاف الجوي  | 9             |
| 360           | معدل الإنعكاس الطيفي للنباتات والمياه والتربة   | 10            |
| 360           | تنوع الدقة المكانية لثلاث مرئيات مختلفة   | 11            |
| 361           | الدقة الطيفية لمرئيات بعض أقمار الاستشعار عن بعد  | 12            |
| 362           | صورتين جويتين لجزء من مدينة ايبو في ماليزيا، الأولى بظلم أبيض وأسود في عام 1983 م، والثانية بظلم ملون في عام 1994 م | 13            |
| 363           | الألوان المضافة والمطروحة من الألوان الرئيسية   | 14            |
| 363           | الحساسية الطيفية للأفلام تحت الحمراء الملونة  | 15            |
| 364           | صورة جوية تحتوي على هدف صناعي بلون أزرق مثل ملعب كرة قدم وهدف طبيعي مثل النباتات بلون أحمر                          | 16            |
| 365           | مرئية (HSI) لمدينة (San Diego) في الولايات المتحدة  | 17            |
| 365           | مرئية AVHRR-3 تم التقاطها من القمر الصناعي NOAA-17 في 28 أغسطس 2005 م توضح إعصار كاترينا جنوب الولايات المتحدة      | 18            |
| 366           | المكونات الرئيسية للمجس MODIS   | 19            |
| 366           | مرئية فضائية لجزيرة سقطرى اليمنية تم التقاطها بواسطة المجس MODIS بتاريخ 3 يونيو 2008 م                              | 20            |
| 367           | منظر VNIR في مجس ASTER  | 21            |
| 367           | منظر SWIR في مجس ASTER  | 22            |
| 368           | منظر TIR في مجس ASTER   | 23            |
| 368           | مرئية فضائية للمجس (ASTER) بدقة مكانية (15 m) تظهر جيولوجية جزء من وادي حضرموت في اليمن                             | 24            |
| 369           | سلسلة أقمار SPOT  | 25            |
| 369           | مرئية فضائية تم التقاطها بواسطة القمر الصناعي SPOT-5 بتاريخ 13 مارس 2009 تظهر جزء من جزيرة سقطرى اليمنية            | 26            |
| 370           | رسم تخطيطي يوضح التصوير المائل لأقمار SPOT  | 27            |
| 370           | القمر الصناعي (Landsat 7 ETM+)  | 28            |
| 371           | مرئية فضائية من القمر الصناعي (Landsat-7) لوادي حضرموت في اليمن   | 29            |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 371 | القمر الصناعي IKONOS   | 30 |
| 372 | مرئية فضائية تم التقاطها بواسطة القمر الصناعي IKONOS في 23 مارس 2007م تظهر جزء من جامعة UPM الماليزية                  | 31 |
| 372 | القمر الصناعي QuickBird  | 32 |
| 373 | مرئية فضائية للقمر الصناعي QuickBird في 14 أكتوبر 2005م بدقة مكانية (60 cm) تظهر جزء من مدينة لاس فيجاس                | 33 |
| 373 | القمر الصناعي GeoEye-1   | 34 |
| 374 | مرئية فضائية لبركان Krakatau في إندونيسيا تم التقاطها بواسطة القمر الصناعي GeoEye-1                                    | 35 |
| 375 | القمر الصناعي WorldView-2  | 36 |
| 375 | مرئية فضائية تم التقاطها بواسطة المحس WorldView-2 في 11 مارس 2011م أثناء حدوث التسونامي في Kengaya، اليابان            | 37 |
| 376 | خارطة منتجة بتقنية (InSAR) تظهر حدوث شق كبير نتيجة انفجار بركان جبل Kilauea في جزيرة هاواي في 5 مارس 2011م             | 38 |
| 376 | نظم التصوير في مجسات LIDAR   | 39 |
| 377 | مرئية LIDAR 3D تم التقاطها في 17 سبتمبر 2001م لجزء من منطقة منهاتن في نيويورك بارتفاع يتراوح من سطح البحر وحتى (200 m) | 40 |
| 378 | طريقة مسح قاع البحار والمحيطات بنظم السونار  | 41 |
| 379 | مرئية سونار عالية الدقة تظهر حواف وشعاب مرجانية في المنطقة الساحلية لولاية كالورينا الجنوبية بالولايات المتحدة         | 42 |
| 379 | القمر الصناعي Seasat   | 43 |
| 380 | صورة 3D لجنوب كاليفورنيا بواسطة إسقاط مرئية Landsat على بيانات (SRTM) المنتجة من (SIR-C/X-SAR)                         | 44 |
| 381 | مرئية (ERS-2) لمضيق (Messina) في إيطاليا مكونة من ثلاث مرئيات Red في 2002م، و Green في 2004م، و Blue في 1999م          | 45 |
| 381 | صورة بالبعد الثالث تم إنتاجها من بيانات (ERS-2) بنظم تصوير (InSAR) لجزيرة (Baffin) في كندا                             | 46 |
| 382 | مرئية (Envisat) تظهر فوهات بركانية في أرخبيل (Galapagos) في المحيط الهادي على بعد (1000 km) غربي الإكوادور             | 47 |
| 383 | القمر الصناعي RADARSAT-1   | 48 |
| 383 | مرئية (Radarsat-2 Standard Quad-Pol) لجزيرة ديفون في منطقة القطب الشمالي الكندي  | 49 |
| 384 | ست مرئيات للمحس (ASTER) توضح أنماط زراعية  | 50 |
| 385 | مرئيات تم التقاطها بواسطة القمر الصناعي (TERRA) والقمر الصناعي (NOAA) لحوض وغابات الأمازون في 2005م                    | 51 |
| 385 | مرئية مدمجة تظهر معلومات خاصة بالتضاريس والنشاط الإشعاعي والتركييب الجيولوجي في ميناء (Coldwell) في كندا               | 52 |
| 386 | مرئية SPOT-5 التقطت في 10 أغسطس 2002م تظهر مصب نهر كوانتان في البحر شرقي ماليزيا                                       | 53 |

L

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 386 | مرئية للقمر (GOES-12) في 9 نوفمبر 2009م توضح مساحة<br>ضخمة من الغيوم تشكل إعصار على الساحل الغربي لفلوريدا           | 54 |
| 387 | مرئية للقمر الصناعي (QuikSCAT) في 15 يوليو 2005م توضح<br>إعصار (Haitang)، كما توضح نمط الرياح السائد                 | 55 |
| 388 | نتائج تركيز الأوزون بواسطة القمر الصناعي (AURA)  | 56 |
| 389 | مرئية للقمر الصناعي (NOAA-19) في 3 أبريل 2012م توضح<br>درجة الحرارة السطحية فوق خليج المكسيك                         | 57 |
| 390 | مرئية GEBCO أنتجت بواسطة جمع بيانات المجسات الصوتية<br>ونقاط الجاذبية من المكوك (SIR) تظهر أعماق المحيط شرق أستراليا | 58 |
| 390 | مرئية فضائية تظهر الحركة التكتونية في خليج كاليفورنيا  | 59 |
| 391 | مرئية InSAR ونقاط GPS توضح النشاط البركاني في بركان<br>بولاية كاليفورنيا   | 60 |
| 392 | مرئية LIDAR لتقييم مخاطر الفيضانات وخرطة تصنيف الظواهر<br>ومنظر 3D يمثل اللون الأزرق المناطق التي تعرضت للفيضان      | 61 |
| 392 | مرئية LIDAR توضح الانزلاقات في منطقة Yalova بتركيا   | 62 |
| 393 | منظر ثلاثي الأبعاد (3D) عن طريق دمج مرئية QuickBird مع<br>(DTM)، يظهر قرية وقمم بركانية                              | 63 |
| 393 | منظر ثلاثي الأبعاد (3D) عن طريق دمج مرئية ASTER مع بيانات<br>(DTM)، يظهر منطقة Areza في إرتيريا                      | 64 |
| 394 | مراحل توجيه صاروخ كروز بواسطة الأقمار الصناعية   | 65 |

## محتوى الجداول

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 52  | الألوان الرئيسية في نطاق الطيف المرئي                             | 2.1 |
| 55  | تفاعل نطاقات الطيف الكهرومغناطيسي مع الغلاف الجوي                 | 2.2 |
| 62  | مصطلحات ورموز الإشعاع الكهرومغناطيسي                              | 2.3 |
| 97  | الدقة المكانية بالمتر مقابل السعة المطلوبة لحفظ الملف على الحاسوب | 3.1 |
| 104 | عدد المستويات الرقمية وعمقها الإشعاعي                             | 3.2 |
| 157 | السرعة والفترة الزمنية للدوران حول المدار لمختلف الأقمار الصناعية | 5.1 |
| 196 | خصائص المجس (AVHRR)   | 7.1 |
| 199 | الطول الموجي والدقة المكانية في قنوات المجس MODIS                 | 7.2 |
| 203 | الطول الموجي والدقة المكانية في قنوات ASTER                       | 7.3 |
| 207 | الشكل الطيفي والدقة المكانية لمرئيات (SPOT)                       | 7.4 |
| 207 | نوع القناة والمدى الطيفي لمرئيات (SPOT)                           | 7.5 |
| 211 | الطول الموجي والتطبيقات لقنوات (Landsat ETM)                      | 7.6 |
| 216 | أهم أقمار الاستشعار عن بعد عالية الدقة                            | 7.7 |
| 222 | الطول الموجي والتطبيقات لقنوات WorldView-2                        | 7.8 |
| 246 | الطول الموجي والتردد ونوع الحزمة المستخدمة في دراسات الرادار      | 8.1 |
| 292 | خصائص نظم التصوير بالكموك الفضائي SIR-C/X-SAR                     | 9.1 |
| 300 | خصائص نظم التصوير في رادار RADARSAT-1                             | 9.2 |
| 302 | خصائص نظم التصوير في رادار RADARSAT-2                             | 9.3 |

## مقدمة

منذ أن خلق الله سبحانه وتعالى الإنسان واستخلفه في الأرض، وسخر له الكثير من مخلوقاته مثل الشمس والقمر والنجوم والمطر والتربة والنباتات والزرور والثمار والدواب، بدأ الإنسان يفكر كيف يستفيد وينتفع من هذه النعم، ومع مرور الوقت بدأ يبتكر الطرق والأساليب التي مكنته من الاستقرار وبناء الحضارات.

إن نظرة الإنسان للأرض والكون منذ بداية خلقه كانت مقتصرة على الملاحظة، إلا أن التطورات التي شهدتها العالم خاصة منذ بداية القرن التاسع عشر وحتى الآن قد مكنت الإنسان من كشف وتدوين وملاحظة الكثير من الظواهر الطبيعية والبشرية، غير أن تلك الملاحظات كانت مقتصرة على الرؤية بالعين المجردة أو التصوير الفوتوغرافي بالضوء المرئي، ومسافات ومساحات محدودة، أما في أيامنا هذه فقد قدم علم الاستشعار عن بعد الإمكانيات والأجهزة التي تصور وتكشف ما يحتويه الكون المحيط بنا بأطوال موجية كثيرة ومتنوعة تفوق قدرة رؤية العين البشرية ومساحات واسعة وممتدة.

إن أهمية علم الاستشعار عن بعد في حياتنا العملية تتزايد يوماً بعد آخر، الأمر الذي يحتم علينا ضرورة الإلمام وزيادة المعرفة بهذا العلم الحديث والاستفادة منه في مختلف التطبيقات الطبيعية والبشرية والاقتصادية والبيئية، ومن هذا المنطلق فقد صدرت الكثير من الكتب التي توضح مفهوم الاستشعار عن بعد وكان أغلب المؤلفين من المختصين بشكل أساسي في العلوم البيئية، وهذا يعود بالطبع إلى اعتبارهم مستخدمين رئيسيين للبيانات والمعلومات التي يتم الحصول عليها بواسطة الاستشعار عن بعد، ومعظم هذه الكتب باللغة الإنجليزية واللغات الأخرى، ولذلك فقد رأيت أن يتم تأليف كتاب في علم

الاستشعار عن بعد ملئ الفراغ في المكتبات العربية، بحيث يستفيد منه طلاب البكالوريوس والدراسات العليا، وكذلك الباحثين والمهتمين بما تقوم به أنظمة الاستشعار عن بعد وكيفية عملها، مما يعزز من ثقافتهم ومعرفتهم في هذا المجال.

لقد تم تزويد الكتاب بالجداول والمرئيات والأشكال والرسوم التوضيحية وترجمة المصطلحات الإنجليزية المستخدمة في هذا العلم، ويعتبر هذا الكتاب هو الجزء الأول من أربعة أجزاء، ويتضمن الجزء الثاني "معالجة الصور الجوية والمرئيات الفضائية الرقمية"، أما الجزء الثالث فيتضمن "معالجة مرئيات الرادار"، ويبحث الجزء الرابع والأخير في "نظم المعلومات الجغرافية".

يحتوي الكتاب على عشرة أبواب يتضمن الباب الأول مقدمة عن الاستشعار عن بعد، والباب الثاني يحتوي على معلومات كاملة عن الإشعاع الكهرومغناطيسي، أما الباب الثالث فيشمل معلومات كاملة عن خصائص الصور الجوية والمرئيات الفضائية، والباب الرابع يشتمل على نظم التصوير الجوي والمساحة الجوية، والباب الخامس يقدم فكرة متكاملة عن مبادئ حركة الأقمار الصناعية، أما الباب السادس فإنه يقدم صورة متكاملة عن نظم المجسات السالبة، والباب السابع يستعرض أهم المجسات والأقمار الصناعية التي تعمل بنظم المجسات السالبة، والباب الثامن تم تخصيصه لنظم المجسات التي تعمل بنظم الرادار والأشعة الدقيقة مع استعراض أهم المجسات التي تعمل بهذه النظم، والباب التاسع يقدم فكرة موجزة عن أهم التطبيقات التي تساهم فيها نظم الاستشعار عن بعد.

د. محمد أحمد مياس

مايو 2012م



# الباب الأول

تطور علم الاستشعار عن بعد





## الباب الأول

## تطور علم الاستشعار عن بعد

## Development of Remote Sensing Science

إن تكنولوجيا الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) من العلوم الهامة التي تتطور بشكل متتالي وسريع، خاصةً منذ عقد السبعينات من القرن العشرين وحتى الآن، ويستعمل علم الاستشعار عن بعد في كل ما يتعلق بالاستفادة من تقنيات الطيف الكهرومغناطيسي والتصوير الجوي للحصول على مرئيات وبيانات متكاملة للظواهر الطبيعية والبشرية على سطح الأرض.

وترجع مساهمة الإنسان في تطوير هذا العلم إلى اعتمادنا على مجسات الاستشعار عن بعد لتزودنا بالمعلومات المتعلقة بمختلف الظواهر المحيطة بنا، ويعود السبب في ذلك إلى محدودية العين البشرية واقتصارها على رؤية الضوء المرئي وعدم قدرتها على رؤية مختلف أطيف الطاقة الكهرومغناطيسية المتعددة بدءاً بأشعة غاما، ومروراً بالأشعة السينية، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة المرئية، والأشعة تحت الحمراء بمختلف أنواعها، والأشعة الحرارية، والأشعة الدقيقة (الميكرويف) التي تحتوي على الرادار، وأخيراً موجات الراديو ذات التردد المنخفض.

## 1.1 تعريف الاستشعار عن بعد

لقد اختلف العلماء والمختصين بنظم الاستشعار عن بعد في الاتفاق على تعريف محدد لعلم الاستشعار عن بعد، ويعود السبب في ذلك إلى تعدد العلوم المساهمة في هذه التقنية مثل هندسة الأقمار الصناعية، وعلوم الفيزياء، والرياضيات، والجغرافيا، والجيولوجيا، وغير ذلك من العلوم التي تستفيد من هذا العلم،

إضافةً إلى أن تكنولوجيا الاستشعار عن بعد عبارة عن حقل واسع يحتوي على تكنولوجيا صناعة الأقمار الصناعية ومجسات التصوير، وطرق مختلفة حول كيفية التقاط المرئيات والحصول على البيانات، ومناهج متعددة في تقنيات معالجة تلك المرئيات، وتطبيقات كثيرة تستفيد من هذه التكنولوجيا.

وإستناداً إلى ما سبق، فقد عرّف (Elachi and Van Zyl, 2006) الاستشعار عن بعد بأنه العلم الذي يتم بواسطته الحصول على المعلومات المتعلقة بجسم ما بدون أن يكون هناك اتصال طبيعي معه، ويتم الحصول على تلك المعلومات عن طريق استكشاف وقياس التغيرات التي يفرضها الجسم على الحقل المحيط به، سواء كان حقل كهرومغناطيسي أو صوتي أو مكاني، ويتضمن ذلك وجود حقل كهرومغناطيسي ينعكس أو ينبعث بواسطة الجسم، أو موجات صوتية تنعكس بواسطة الجسم، أو تأثير الجاذبية الأرضية أو الحقل المغناطيسي المحيط بالجسم.

أما (Lillesand et al, 2004) فقد قدموا تعريفاً آخر للاستشعار عن بعد بأنه علم وفن كيفية الحصول على معلومات حول هدف أو منطقة أو ظاهرة ما، من خلال تحليل البيانات التي يتم جمعها وتسجيلها بواسطة مجسات التصوير بدون حدوث أي اتصال مباشر مع الهدف أو المنطقة أو الظاهرة التي يتم بحثها، وهذا التعريف يتفق مع التعريف الذي قدمه المركز الكندي للاستشعار عن بعد (CCRS, 2007)، بأن الاستشعار عن بعد هو علم (والى حد ما، فن) اكتساب معلومات تتعلق بالأهداف الموجودة على سطح الأرض بدون أن يكون هناك اتصال مباشر بها، بواسطة استخدام مجسات استشعار تسجل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة من تلك الأهداف ومعالجة، وتحليل، وتطبيق تلك المعلومات.

أما (Buiten and Clevers, 1993) فقد ركزا في تعريفهما للاستشعار عن بعد على المناهج والوسائل والتقنيات المستخدمة في هذا العلم، حيث ذكرا بأن الاستشعار عن بعد هو العلم الذي يتكون من الوسائل والتقنيات والمناهج المستخدمة لمراقبة سطح الأرض من مسافة بعيدة، كما يتضمن تفسير المرئيات أو القيم العددية التي تسجلها المجسات بهدف الحصول على معلومات مفيدة لأهداف محددة على الأرض، وأخيراً فقد عرّف (Konecny, 2003) الاستشعار عن بعد بأنه طريقة الحصول على معلومات لأجسام بعيدة بدون أي اتصال مباشر مع تلك الأهداف، وهذا محتمل نظراً لوجود حقول للطاقة الكهرومغناطيسية بين مجس الاستشعار والجسم الموجود على سطح الأرض.

## 1.2 أهمية الاستشعار عن بعد

تمر الأرض بمتغيرات سريعة بسبب التحضر والتصنيع ، ونتج عن ذلك ظهور الكثير من المشاكل البيئية مثل نقص المياه، والتصحر وتعرية التربة، وإزالة أشجار الغابات، وتقلص المساحات المزروعة، وترسب النفايات السامة، التي تظمر في اليابسة والبحار، والتوسع العمراني، وارتفاع درجة حرارة الأرض، والكثير من المشاكل البيئية الأخرى.

ويعتمد حل هذه المشاكل على توفر المعلومات والبيانات الدقيقة طويلة المدى التي تساعد على إجراء تنبؤات للأخطار الطبيعية والأوبئة والتطرف المناخي، ومعرفة كيفية معالجتها في الوقت المناسب، وقد ساهم التطور الهائل والتقدم التكنولوجي السريع والمستمر خلال السنوات العشرين الأخيرة في صناعة الأقمار الصناعية ومجسات وأجهزة الاستشعار عن بعد، في رصد تلك المشاكل وإيجاد الحلول المناسبة لها.

وبناءً على ذلك، فإن علم الاستشعار عن بعد يسهم إسهاماً فاعلاً في تزويدنا بالمعلومات الدقيقة والواضحة لمختلف الظواهر الطبيعية والبشرية على سطح الأرض والغلاف الجوي والمحيطات، ونتيجة لذلك فقد اكتسب علم الاستشعار عن بعد أهمية بالغة كمزود رئيسي وأساسي لهذه البيانات مما يسهم في تحسين الأوضاع البيئية وتعزيز وجود المجتمع الإنساني على الأرض.

إن من أهم مزايا المرئيات الفضائية أنها تتيح إمكانية مراقبة مناطق واسعة في وقت واحد ولفترة طويلة، كما أن مرور القمر الصناعي باستمرار في مداره حول الأرض يتيح الحصول على سلسلة من المرئيات الفضائية التي تساعد على كشف التغير ومعرفة ظروف المنطقة المراد دراستها بدون زيارة تلك المنطقة، كما أن التنوع الطيفي في تلك المرئيات مما يساعد في الحصول على المعلومات التي لا ترى بالعين المجردة.

إن الكثير من العلوم الطبيعية والبشرية قد استفادت استفادة مباشرة من التقدم التقني الهائل الذي حققه علم الاستشعار عن بعد، وتعد الأقمار الصناعية واختلاف تطبيقاتها، وتأتي علوم الجغرافيا، والجيولوجيا، والجيومرفولوجيا، والزراعة، والمناخ، والتخطيط الحضري في مقدمة العلوم التي استفادت منه، كما أن التقدم المتسارع في أجهزة الحاسبات الآلية، وبرامج تحليل الصور الرقمية والمرئيات الفضائية، قد أسهم في عملية تحليل وتفسير المرئيات الفضائية بشكل أكثر تفصيلاً، بدلاً من الاعتماد على التفسير البصري الذي كان يستعمل سابقاً.

وتتلخص فوائد علم الاستشعار عن بعد في الآتي:

1. إمكانية الحصول على مرئيات فضائية تغطي مناطق واسعة، وتقوم بكشف وتسجيل البيانات التي لا يمكن للعين المجردة أن تراها، وبأطراف متعددة، بدءاً بالأشعة فوق البنفسجية وحتى صور الرادار، مما يوفر الوقت والجهد معاً، ويساهم في المقارنات الزمانية والمكانية بين مجموعة من الصور التي يتم

- التقاطها في أوقات مختلفة لنفس المكان وكذا مقارنة النتائج بين قمر صناعي وآخر، بهدف وضع الخرائط الدقيقة للتجمعات السكانية ومناطق التحضر وطرق النقل سواء في المناطق السهلية أو الجبلية.
2. إمكانية الحصول على المرئيات الخاصة بمختلف التفاعلات التي تحدث في الغلاف الجوي بهدف تتبع ورصد الظواهر المختلفة مثل الأعاصير والعواصف، وبالتالي تفادي حدوث الكوارث الناجمة عن تلك التفاعلات، وتقليل الخسائر في الأرواح والممتلكات، وكذلك دراسة الطقس وتشكل السحب، كما تساهم في الحد من خسائر بعض الكوارث الطبيعية مثل البراكين والفيضانات وحرائق الغابات.
3. تعزيز القدرات الدفاعية عن طريق تحديد مواقع وحركة وحجم الجيوش المعادية والأماكن والأهداف الاستراتيجية، ووضع الخرائط الخاصة بالمراقبة الجوية والاستطلاع والتحكم في التصويب على الأهداف وتوجيه نيران الأسلحة، مما يسهل عملية الانتشار والمباغته وحسم المعارك، إضافة إلى مراقبة أي نشاطات تقوم بها عصابات التهريب والجماعات الإرهابية التي تهدف إلى زعزعة الأمن والاستقرار على نطاق محلي أو إقليمي أو عالمي.
4. توفير الإمكانيات لإعداد الخرائط الخاصة بتصنيف الغطاء النباتي وأنواع التربة والغابات وأنواع المحاصيل الزراعية و رصد الآفات الزراعية وأمراض النباتات ومراقبة التصحر، مما يسهل عملية إدارة واستخدام الأراضي الزراعية بشكل عملي وفعال.

5. مراقبة التلوث الذي يحصل في مناطق مختلفة من العالم سواء على سطح الأرض أو في البحار والمحيطات مثل تسرب النفط من ناقلات النفط ومخلفات المصانع والنفايات، بحيث يستطيع المستخدم لهذه التكنولوجيا مراقبة أي تغيرات بيئية ووضع الحلول المناسبة لحماية البيئة بناءً على التحليل العلمي الصحيح.
6. المساهمة في دراسة التكوينات الصخرية والكشف عن المعادن ومواقع البراكين والصدوع ودراسة الشبكات المائية وحركة الأنهار وإعداد خرائط كاملة ودقيقة لمختلف الظواهر الجيولوجية والجيومورفولوجية والجغرافية.

### 1.3 تطور علم الاستشعار عن بعد

إن تطور علم الاستشعار عن بعد كحقل علمي مرتبط بشكل وثيق بالتطورات المصاحبة للتصوير الفوتوغرافي منذ بدايته في عام 1827م، وفي عام 1849م أنشأت جمعية المهندسين في فرنسا برنامج شامل لاستعمال التصوير الفوتوغرافي لإنتاج الخرائط الطبوغرافية، وبحلول عام 1858م، استخدمت المناطق لتصوير المناطق الواسعة، تلى ذلك استعمال الطائرات الورقية في عام 1880م، لحمل كاميرات التصوير لارتفاعات بلغت مئات الأمتار وتصوير سطح الأرض بواسطتها، كما ساهم اختراع الطائرات في جعل التصوير الفوتوغرافي الجوي أداة مفيدة جداً، لأن جمع البيانات عن أي منطقة معينة وتحت شروط يمكن السيطرة عليها أصبح أمراً ممكناً، وقد تم اعتبار الصور الجوية التي التقطت بواسطة طائرة تصوير في عام 1909م في إيطاليا هي أول صور جوية مسجلة يتم استخدامها لأغراض مدنية.



وفي منتصف الثلاثينات من القرن العشرين توفرت إمكانية الحصول على صور فوتوغرافية ملونة، وفي نفس الفترة، كان العمل مستمراً في تطوير الأفلام الحساسة للأشعة تحت الحمراء، وفي أثناء الحرب العالمية الثانية، أُجريت الأبحاث على خصائص الانعكاس الطيفي للتضاريس الطبيعية وتوفر إمكانية التخزين في التصوير الجوي، وكان الحافز الرئيسي لذلك هو تطوير تقنيات لكشف التمويه أثناء العمليات الحربية، وفي عام 1956م ساهمت بعض التجارب المبكرة في استعمال التصوير الجوي في تصنيف وتمييز أنواع النباتات وكشف النباتات الصحيحة والتالفة، كما أُستعملت أنظمة المايكرويف الفعالة في الربع الأول من القرن العشرين، حيث أُجريت عدة تجارب لاستعمال أنظمة الرادار في تتبع السفن والطائرات ودراسة طبقة الأيونوسفير، وقد تطورت بشكل أوسع بعد الحرب العالمية الثانية في اكتشاف وتعقب الأجسام المتحركة مثل السفن و الطائرات، وقد طورت مجسات المايكرويف بعد ذلك للحصول على صور ثنائية الأبعاد مشابهة للتصوير الفوتوغرافي.

لقد توسّع عمل الرادار بشكل واضح أثناء الحرب العالمية الثانية، أما في أيامنا هذه فقد تنوعت تطبيقات الرادار بشكل واسع حيث يستعمل لدراسة سطح المحيطات، وظواهر الغلاف الجوي، وتطبيقات سطح الأرض، والغطاء الأرضي بحيث أصبحت مرئيات الرادار تزودنا بالقياسات الطبوغرافية المتعددة، وتعتبر البيانات ثلاثية الأبعاد 3D لسطح الأرض من أهم البيانات التي يتم إنتاجها من مرئيات الرادار،

كما حدث تطور شامل في تطوير رادارات التصوير ذات البؤرة الحقيقية المحمولة جوا منذ منتصف الخمسينات، وفي نفس الوقت تقريباً كان العمل مستمراً في تطوير رادارات التصوير ذات الفتحة الصناعية SAR التي تعتمد على الذبذبات التي ينشئها الرادار للحصول على مرئيات ذات درجة عالية الوضوح من الطائرات التي تطير على ارتفاعات عالية، التي استخدمت بشكل فعال منذ منتصف الستينات وقد كان أول قمر صناعي يحمل رادار SAR هو (Seasat) في عام 1978م، وكذلك الرادارات المحمولة على المكوك الفضائي في عام 1981م.

إن إطلاق القمر الصناعي الروسي (Sputnik) إلى الفضاء في أكتوبر 1957م، يعتبر البداية الحقيقية لإرسال الأقمار الصناعية واستكشاف الفضاء بواسطة الإنسان، أما بداية التطور النوعي في علم الاستشعار عن بعد فقد كانت في بداية الستينات من القرن الماضي حيث أجريت الكثير من الدراسات التطبيقية في التصوير باستخدام الأشعة تحت الحمراء والمجسات المتعددة الأطياف من قبل وكالة ناسا.

كما بدأت الولايات المتحدة في أوائل الستينات من القرن العشرين بوضع مجسات الاستشعار عن بعد في الفضاء لرصد الطقس ثم في وقت لاحق لرصد مظاهر سطح الأرض، ويعتبر القمر الصناعي (TIROS) أول قمر صناعي يستخدم للأرصاد الجوية، وفي عام 1970م تم تغيير اسم البرنامج من (TIROS) إلى برنامج (NOAA) الذي يعمل حتى اليوم ويقدم صور (AVHRR) التي تضم

معلومات عن الظواهر المناخية بموجات الأشعة الحرارية والمرئية والأشعة تحت الحمراء.

ويعتبر أول قمر صناعي مصمم خصيصاً لجمع بيانات لسطح الأرض هو (ERTS-1) في عام 1972م، وفي وقت لاحق في عام 1975م أعيدت تسمية هذا البرنامج الى (Landsat) ويعمل بماسح متعدد الأطياف (MSS)، وقد توالى بعد ذلك إطلاق سلسلة من الأقمار الصناعية لبرنامج Landsat، حيث تم إطلاق (Landsat-2) في عام 1975م و (Landsat-3) في عام 1978م، وبحلول عام 1982م تم إطلاق (Landsat-4 TM) الذي كان أكثر تقدماً من الناحية التقنية خاصة للمرئيات الحرارية، وحتى إطلاق آخر قمر صناعي في عام 1999م لنفس البرنامج وهو (Landsat-7 ETM+)،

وفي عام 1978م قررت الحكومة الفرنسية تطوير برنامج ذاتي لرصد مظاهر سطح الأرض أسفر عن إطلاق أول قمر صناعي (SPOT) في عام 1986م واستمر التطوير حتى عام 2002م حيث تم إطلاق (SPOT-5)، كما ساهمت الهند في إطلاق سلسلة من الأقمار الصناعية بدءاً بالقمر الصناعي (IRS) في عام 1988م، إضافةً إلى مساهمة عدد من الدول في إطلاق أقمار صناعية تحمل مجسات استشعار عن بعد مثل دول الإتحاد الأوروبي، والصين والبرازيل.

إن مجسات الاستشعار عن بعد التي تعمل بالليزر تعتبر من أحدث الأجهزة المستخدمة في هذا المجال، وقد تم تطوير استخدام الليزر في تطبيقات

الاستشعار عن بعد منذ نهاية الستينيات وذلك لاستخدامه بشكل رئيسي في الدراسات الجوية والتخطيط، وتجدر الإشارة إلى أن هناك الكثير من أقمار الاستشعار عن بعد التي تعمل في مدارات مختلفة ولأغراض متعددة، ويشرح الفصل السابع أهم هذه الأقمار بالتفصيل.

#### 1.4 خطوات الاستشعار عن بعد

تتطلب عملية الاستشعار عن بعد حدوث تفاعل بين الإشعاع الكهرومغناطيسي والظواهر المطلوب دراستها، سواءً بواسطة المجسات المحمولة على الأقمار الصناعية أو طائرات التصوير، أو تلك التي نحصل منها على بيانات ومعلومات رقمية عن الظاهرة، وتتلخص خطوات الحصول على بيانات بواسطة تقنية الاستشعار عن بعد الخطوات التالية:

##### 1. وجود مصدر للطاقة الكهرومغناطيسية

إن المتطلب الأول لحدوث عملية الاستشعار عن بعد هو وجود مصدر للطاقة يقوم بتزويد مختلف الظواهر على سطح الأرض بالطاقة الكهرومغناطيسية، وتعتبر الشمس هي المصدر الأول والرئيسي لهذه الطاقة، وكل أنظمة الاستشعار عن بعد السالبة (Passive Sensors) تعتمد على الطاقة المرسله من الشمس إلى الأهداف على سطح الأرض، حيث تقوم المجسات بتسجيل الأشعة المنعكسة أو المنبعثة من تلك الأهداف، أما أنظمة الاستشعار عن بعد الفعالة (Active Sensors) مثل نظم الرادار فتقوم بتوليد الأشعة

الكهرومغناطيسية من أجهزة خاصة في مجساتها وترسلها نحو الأهداف وبالتالي تسجل الأشعة المرتدة من تلك الأهداف، (صورة رقم 1، ص 355).

## 2. تفاعل الأشعة الكهرومغناطيسية مع الغلاف الجوي

تتفاعل الطاقة الكهرومغناطيسية مع الغلاف الجوي أثناء انتقالها من الشمس وقبل وصولها إلى سطح الأرض، وتحدث عمليات فيزيائية نتيجة لهذا التفاعل مثل الانعكاس والإمتصاص والنفذية، فجزء من الطاقة الكهرومغناطيسية يتم امتصاصه أو يتشتت في الغلاف الجوي، والباقي ينفذ إلى سطح الأرض.

## 3. التفاعل مع الأهداف على سطح الأرض

بعد نفذية الطاقة الكهرومغناطيسية من الغلاف الجوي ووصولها إلى سطح الأرض فإنها تتفاعل مع الهدف، ويعتمد هذا التفاعل على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للهدف وكذلك خصائص الإشعاع الكهرومغناطيسي.

## 4. تسجيل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة من الأهداف بواسطة المجس

يقوم المجس المحمول على القمر الصناعي بتسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية المنعكسة أو المنبعثة من الهدف على سطح الأرض وذلك في حالة المجسات السالبة، أما إذا في حالة المجسات الفعالة فتقوم بإرسال الذبذبات إلى الأهداف على سطح الأرض ومن ثم تسجل الأشعة المرتدة باتجاه المجس.

## 5. استقبال البيانات ومعالجتها

بعد أن يستقبل المجس الطاقة المنعكسة من الأجسام يقوم بفرز تلك البيانات إلى قنوات طيفية ويسجلها على شكل بيانات رقمية، ثم يرسلها إلى المحطات الأرضية التي تقوم بمعالجتها وتحويلها إلى مرئيات فضائية.

## 6. التفسير والتحليل

يتم في هذه المرحلة عملية تفسير وتحليل المرئيات الفضائية بشكل بصري أو إلكتروني أو رقمي وذلك للحصول على المعلومات حول الهدف المراد دراسته.

## 7. التطبيق

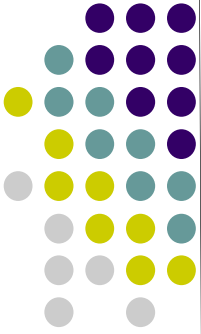
المرحلة النهائية لعملية الاستشعار عن بعد هي مرحلة التطبيق حيث يتم الاستفادة من المعلومات المتعلقة بالأهداف واستخراجها من المرئية الفضائية بغرض كشف أي معلومات جديدة تساهم في دراسة الظاهرة.

إن نظم الاستشعار عن بعد التي تقيس الطاقة المتاحة في الطبيعة تسمى أجهزة استشعار أو مجسات سلبية (passive sensors)، وهذا يعني أن هذه المجسات التي تعتمد على الأشعة المنعكسة من الأهداف على سطح الأرض لا يمكن أن تعمل إلا خلال الوقت الذي تقوم فيه الشمس بإرسال الضوء إلى الأرض لأنه لا توجد أشعة منعكسة متاحة في الليل، أما الطاقة التي تنبعث أو تشع بشكل طبيعي من الأجسام (مثل الأشعة تحت الحمراء الحرارية) فيمكن اكتشافها

---

ليلاً أو نهاراً، طالما أنها تحتوي على كمية طاقة كبيرة وكافية لكي يتم تسجيلها، (صورة رقم 2، ص 355).

أما المجسات الفعالة (active sensors) فهي تقوم بتوليد وإرسال الأشعة الكهرومغناطيسية نحو الهدف المراد دراسته وبالتالي ترتد الأشعة من الهدف نحو المجس الذي يقوم بقياسها وتسجيلها مثل مجسات الرادار والليزر، ومن مزايا المجسات النشطة قدرتها على الحصول على بيانات في أي وقت من أوقات النهار أو الليل، كما أن لها القدرة على اختراق الغيوم والضباب والأمطار، وتتطلب هذه المجسات القدرة الكاملة والفعالة لتوليد كمية كبيرة من الطاقة وبشكل كاف لتمييز الأهداف.



# الباب الثاني

خصائص الإشعاع  
الكهرومغناطيسي





## الباب الثاني

### خصائص الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic Radiation

إن الطاقة الكهرومغناطيسية (Electromagnetic Energy) هي المصدر الرئيسي لأنواع الطيف الكهرومغناطيسي الذي يعتبر أساس عمل الاستشعار عن بعد، كما يعتبر الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic Radiation (EMR) الوسيط الذي يتم عن طريقه بث الطاقة الكهرومغناطيسية على هيئة موجات (Waves) في الفضاء، ويحمل الطاقة الكهرومغناطيسية المنعكسة أو المنبعثة التي تحتوي على البيانات الخاصة بالظاهرة أو الهدف الموجود على سطح الأرض إلى المجس، ويمكن تمييز الموجات الكهرومغناطيسية بواسطة طول الموجة، والسعة، والتردد، والاتجاه، والسرعة، والاستقطاب، وتماسك الإشعاع.

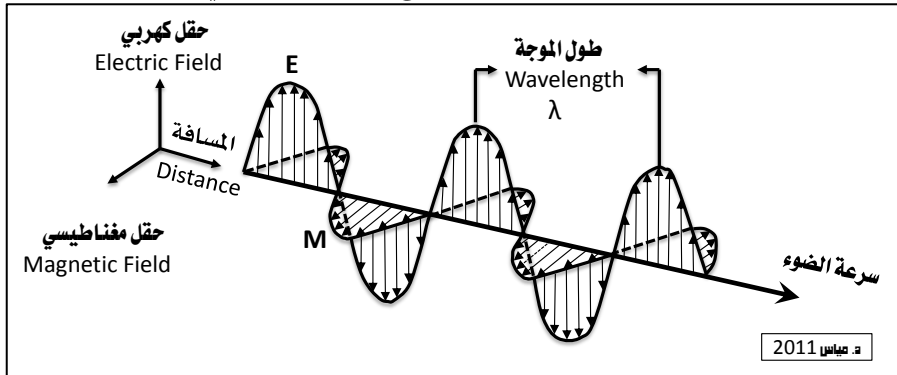
وتتشكل الطاقة الكهرومغناطيسية من جزيئات منفصلة تسمى (فوتونات) أو (Quantum)، وتُرمز هذه البيانات على شكل تردد أو كثافة أو قطبية للموجة الكهرومغناطيسية، ويتم نشرها بواسطة الإشعاع الكهرومغناطيسي بسرعة الضوء بشكل مباشر من المصدر خلال الفضاء أو الفراغ أو بشكل غير مباشر بواسطة الانعكاس أو التشتت وإعادة الإشعاع إلى المجس، ويعتمد التفاعل

بين الموجات الكهرومغناطيسية مع سطوح الأجسام أو الغلاف الجوي على تردد الموجات (Elachi and Van Zyl, 2006).

## 2.1 مكونات الإشعاع الكهرومغناطيسي EMR Components

يتكون الإشعاع الكهرومغناطيسي من حقلين هما حقل كهربائي (E) يقع في الاتجاه العمودي على المسار الذي يمر فيه الإشعاع، وحقل مغناطيسي (M) يمر بزاوية قائمة على الحقل الكهربائي شكل (2.1)، وكلا الحقلان يسيران بسرعة الضوء.

شكل (2.1): مكونات الإشعاع الكهرومغناطيسي



المصدر: رسم المؤلف استناداً إلى (Janssen and Gerrit, 2001)

هناك خاصيتان من خصائص الإشعاع الكهرومغناطيسي يجب معرفتهما وذلك لفهم الاستشعار عن بعد، هما الطول الموجي (Wavelength)، والتردد (Frequency)، فالطول الموجي يمثل المسافة بين قمتي موجتين متتاليتين،

بمعنى أنه المسافة بين قمة موجة وقمة الموجة التي تليها من موجات الإشعاع الكهرومغناطيسي، ويرمز له بالرمز ( $\lambda$ ) وهذا هو طول دورة موجة واحدة (Bossler, 2002).

ويُقاس طول الموجة بالمتري ( $m$ ) أو أجزاء المتر، مثل النانومتر ويساوي ( $\eta m = 10^{-9}$  metres)، والميكرومتر ويساوي ( $\mu m = 10^{-6}$  metres)، والسنتيمتر ( $cm = 10^{-2}$  metres)، وعادة يتم استعمال الميكرومتر كمقياس لقياس الطول الموجي في نظم الاستشعار عن بعد.

أما التردد فهو عدد دورات الموجة التي تعبر نقطة ثابتة في الثانية الواحدة، ويرمز له بالرمز ( $f$ ) ويقاس التردد بالهرتز (Hz) ومضاعفاته، وهناك خاصية مهمة هي فترة الموجة ( $T$ ) وتعرف بأنها الفترة الزمنية التي تقطعها الموجة في الثانية الواحدة، ويرتبط التردد والطول الموجي مع الفترة الزمنية من خلال العلاقات الرياضية التالية:

$$c = \lambda f \quad (2.1)$$

$$\lambda = c/f \quad (2.2)$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{\lambda}{c} \quad (2.3)$$

حيث أن:

$$\lambda = \text{الطول الموجي ويقاس بالمتر } (m), \text{ و } f = \text{التردد ويقاس بالهرتز } (Hz), \\ c = \text{سرعة الضوء ويساوي } (3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

كما أن سرعة انتشار الموجات ( $v$ ) هو نتاج قياس التردد والطول الموجي وتقاس من خلال العلاقة الرياضية (2.4):

$$v = \lambda \times f \quad (2.4) \quad (\text{Mather, 2004})$$

إن شكل (2.2) يوضح منحنيين هما (A) و (B)، لموجتين متساويتين في الطول الموجي والتردد، ومختلفتين في مقدار السعة، فلدى المنحنى (A) سعة موجية مقدارها وحدتين، في حين أن المنحنى (B) لديه سعة من أربع وحدات، وبرغم أن هاتين الموجتين لهما نفس الطول الموجي والتردد والفترة، إلا أنهما تختلفان فقط في السعة.

إن سعة الموجة (A) تمثل المسافة القصوى التي تحققها موجة من مركزها إلى قمة الموجة، ولذلك فإن كمية طاقة الموجة تتناسب مع مربع السعة ويمكن حساب التردد من خلال معرفة الطول الموجي (Mather, 2004).

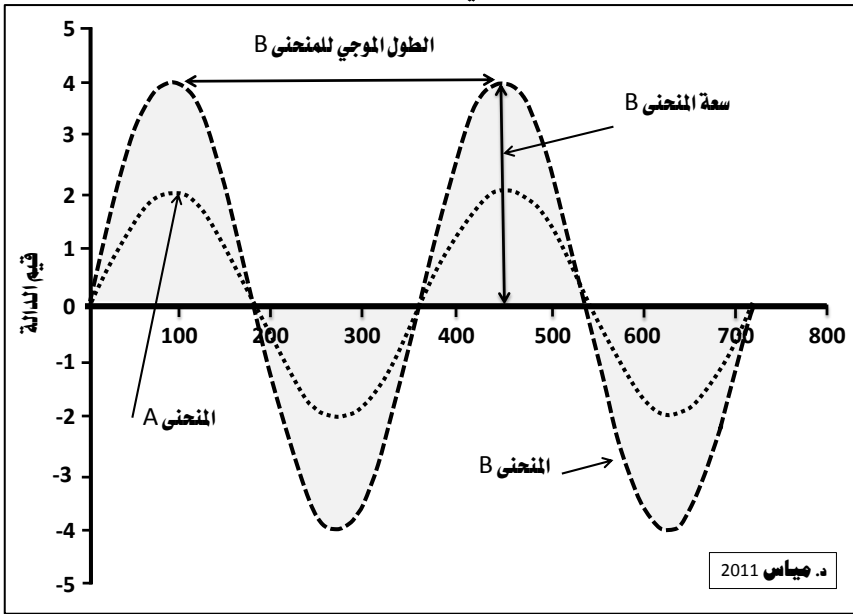
فإذا كان الطول الموجي ( $\lambda$ ) يساوي ( $0.6 \mu m$ ) وسرعة انتشار الموجة ( $v$ ) هي محصلة طول الموجة وتردها فيمكن حساب تردد الموجة كمايلي:

$$v = 6 \times 10^{-7} \times f \quad (2.5)$$

$$f = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^{-7}} \text{ Hz} \quad (2.6)$$

$$f = 0.5 \times 10^{15} \text{ Hz} \quad (2.7)$$

شكل (2.2): تساوي الطول الموجي والتردد والفترة واختلاف السعة لموجتين



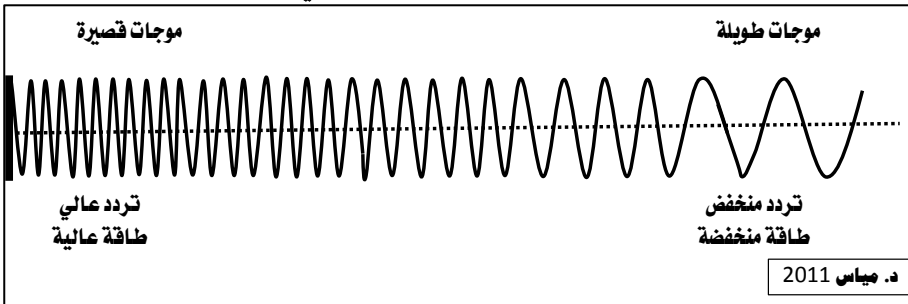
المصدر: رسم المؤلف استناداً إلى (Mather, 2004)

وهذا يعني أن الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يبلغ طوله الموجي  $(0.6 \mu m)$  يكون تردده  $(0.5 \times 10^{15} \text{ Hz})$ ، وفترة الموجة تمثل علاقة تبادلية

لتردد الموجة شكل (2.3)، بمعنى أن الموجة الواحدة في هذا التردد سوف تعبر نقطة ثابتة خلال  $(2 \times 10^{15})$  ثانية.

وعندما يكون المجال الكهربائي في الاتجاه العمودي (Y-Z) والحقل المغناطيسي أفقي (X-Z) فإن إشارة الطاقة تكون قطبيتها عمودية، وبالمقابل عندما يكون المجال الكهربائي في الاتجاه الأفقي (X-Z) والحقل المغناطيسي عمودي (Y-Z) فإن إشارة الطاقة تكون قطبيتها أفقية، والعلاقة بين طول الموجة وتردها هي علاقة عكسية فإذا كان طول الموجة أقصر كان التردد أعلى، وإذا كان طول الموجة أطول كان التردد منخفض شكل (2.3).

شكل (2.3): العلاقة بين الطول الموجي والتردد



المصدر: رسم المؤلف

وفي بعض الاستخدامات يكون استخدام الإشعاع الكهرومغناطيسي ملائماً أكثر بواسطة الجزيئات (Photons) بدلاً عن الموجة، حيث نجد أن الطاقة الكهرومغناطيسية تتكون من وحدات منفصلة (فوتونات) وهذا المفهوم يستخدم

عندما تقاس كمية الطاقة بواسطة المجس متعدد الأطياف (Multispectral Sensor)، وعليه فإن كمية الطاقة المحملة بالفوتونات وبطول موجي محدد يمكن حسابها بواسطة العلاقة الرياضية التالية (2.8):

$$Q = h \times f = h \times \frac{c}{\lambda} \quad (2.8)$$

حيث أن:  $Q =$  طاقة الفوتون وتقاس بالجول (J)، و  $h =$  ثابت بلانك وتساوي  $(6.6262 \times 10^{-34} \text{ J/sec})$

توضح المعادلة (2.8) أن طاقة الفوتون تتناسب تناسباً عكسياً مع الطول الموجي، فكلما كان الطول الموجي أطول كان محتوى الطاقة أقل، فعلى سبيل المثال، لحساب طاقة الفوتون الواحد عند الطول الموجي  $(0.5 \mu\text{m})$  من خلال تطبيق المعادلة (2.8) نجد أن:

$$Q = \frac{(6.6262 \times 10^{-34}) \times (3 \times 10^8)}{0.5 \times 10^{-6}} = 40 \times 10^{-20} \text{ J}$$

ولذلك نجد أن الإشعاعات المنبعثة طبيعياً من الظواهر الطبيعية على سطح الأرض والتي تتميز بطول موجاتها يصعب استشعارها مقارنة بالظواهر التي تنبعث منها إشعاعات قصيرة الموجة، مما يستلزم أن تقوم مجسات الاستشعار عن بعد بعمليات مسح كبيرة ومتكررة وفي أوقات مختلفة حتى تستطيع كشف تلك الطاقة المنخفضة.



## 2.2 الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic Spectrum

تعتبر الشمس هي المصدر الرئيسي للإشعاع الكهرومغناطيسي، وضوء الشمس هو مصدر الإضاءة على كوكب الأرض بحيث يستخدمه الدماغ لبناء صورة متكاملة للمشاهد التي يراها الانسان، وبذلك تستطيع العين البشرية رؤية مختلف المظاهر الطبيعية والبشرية على كوكب الأرض أثناء النهار، إن سبب تسمية الطيف المرئي بهذا الاسم يعود إلى أن العين البشرية تستطيع كشفه ورؤيته (Schott, 2007)، وهناك أنواع أخرى من إشعاعات الطاقة الكهرومغناطيسية إلا أنها غير مرئية بالعين المجردة مثل الأشعة القصيرة (الميكرويف)، والأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية وأشعة غاما، وجميع هذه الأنواع تعتبر أطيف تشع طبقاً لنظرية الموجات الكهرومغناطيسية.

لقد أوضح العالم الفلكي السير وليام هيرشيل إشعاعات الطيف الكهرومغناطيسي ذات الأطوال الموجية الأطول من موجات الطيف المرئي وسماها الأشعة تحت الحمراء (infrared)، وتعني نطاق الأشعة التي تلي الضوء الأحمر الموجود ضمن نطاق الأشعة المرئية، وقد تبين لاحقاً وجود نطاقات لإشعاعات كهرومغناطيسية موجودة أيضاً قبل الضوء البنفسجي ولذلك سُميت الأشعة فوق البنفسجية (Mather, 2004).

ويتكون الطيف الكهرومغناطيسي من عدة نطاقات طيفية، بدءاً بالموجات ذات الأطوال الموجية القصيرة مثل أشعة غاما والأشعة السينية، إلى الموجات ذات

الأطوال الموجية الطويلة مثل المايكروويف وموجات الراديو، ويقع نطاق الطيف المرئي ضمن نطاقات الطيف الكهرومغناطيسي (صورة رقم 3، ص 356).

### 2.2.1 نطاق الراديو والموجات الدقيقة Radio and Microwave Band

يغطي نطاق الراديو الأطوال الموجية التي يكون طولها الموجي أطول من (3 cm) بتردد أقل من (3 GHz)، ويغطي نطاق المايكروويف المنطقة المجاورة لنطاق الراديو، أقل من (1 mm) بطول موجي قدره (300 GHz)، وفي هذه النطاقات تكون أغلب التفاعلات محكومة بالدوران الجزيئي، خصوصاً في أطوال الموجة الأقصر، ويستعمل هذا النطاق غالباً في مجس الراديوميتر (radiometers) والاسبيكتروميتر (spectrometers) وأنظمة الرادار، كما في (صورة رقم 4، ص 356).

إن معظم مجسات الأقمار الصناعية التي تعمل في نطاق المايكروويف تستخدم الأطوال الموجية بين (3 cm) و (25 cm) ويمكن أن يخترق الإشعاع في هذه الأطوال الموجية السحب، بحيث يعتبر استخدام مرئيات الرادار مفيداً في المناطق المعتدلة والاستوائية التي تبقى مغطاة بالسحب لأوقات طويلة، لأن المجسات التي تعمل بالأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء الحرارية لا تستطيع اختراق السحب فوق المناطق المراد تصويرها (Landgrebe, 2003).

ونظراً لأن مستوى طاقة المايكروويف المنبعثة من الأرض منخفضة جداً، فإن مجسات الاستشعار عن بعد التي تستخدم موجات المايكروويف تقوم بتوليد

إشعاعات كهرومغناطيسية ذاتية وترسلها باتجاه الأهداف على سطح الأرض، ومن ثم تنعكس مرة أخرى باتجاه المجس الذي يستقبلها ويسجلها على هيئة مرئية فضائية، ومعظم تلك المرئيات يتم إنتاجها بواسطة الرادارات، وتعتبر المرئيات التي ينتجها رادار SAR مثلاً على هذا النوع، كما هو واضح في شكل (2.4)، لأن رادارات SAR تستطيع الكشف عن خشونة سطح المحيطات، ورصد التيارات والموجات البحرية، والتعرف على رطوبة التربة.

شكل (2.4): مرئية (RADARSAT-1) للساحل الشرقي لماليزيا الواقع في بحر الصين الجنوبي تم التقاطها في 29 مارس 2005م



المصدر: مركز الاستشعار المالىزي (MACRS)

## 2.2.2 نطاق الأشعة تحت الحمراء Infrared Band

يغطي نطاق الأشعة تحت الحمراء المنطقة الطيفية من  $(0.7 \mu m)$  إلى  $(3 \mu m)$  ويقسم هذا النطاق إلى عدة نطاقات ثانوية مثل نطاق الأشعة تحت

الحمراء القريبة (Near-Infrared (NIR) وسُمِّيت كذلك لأنها قريبة من الأشعة المرئية، ولذلك تستطيع أفلام التصوير الجوي الحديثة التقاط صور جوية ضمن نطاق هذه الأشعة، ويتراوح طول أشعة (NIR) بين  $(0.7 \mu m)$  و  $(1.1 \mu m)$ ، ونطاق الأشعة تحت الحمراء المتوسطة (MIR) ويتراوح طولها الموجي بين  $(1.1 \mu m)$  و  $(1.8 \mu m)$ ، ونطاق الأشعة تحت الحمراء القصيرة (Short Wave-Infrared (SWIR) ويتراوح طولها الموجي بين  $(1.8 \mu m)$  و  $(2.5 \mu m)$ ، أما الأشعة تحت الحمراء الحرارية (Thermal Infrared) فتتراوح بين  $(3 \mu m)$  إلى  $(100 \mu m)$ ، وهي إشعاعات منبعثة من الأجسام الموجودة على سطح الأرض، وتعتمد كمية الإشعاع والطول الموجي على درجة حرارة الجسم وتختلف من جسم إلى آخر (Rees, 2001).

### 2.2.3 نطاق الطيف المرئي Visible Band

إن الضوء المرئي هو جزء من الإشعاع الكهرومغناطيسي تتراوح أطواله الموجية بدءاً من الضوء الأزرق عند الطول الموجي  $(0.4 \mu m)$  وحتى  $(0.7 \mu m)$  عند الضوء الأحمر جدول (2.1)، والألوان الأساسية في الطيف المرئي هي اللون الأزرق والأخضر والأحمر، وتعرف على هذا النحو لأنه لا يمكن إنشاء أي لون واحد أساسي من اثنين آخرين، ولكن يمكن أن تتكون جميع الألوان الأخرى عن طريق المزج بين الأزرق والأخضر والأحمر بنسب مختلفة، (صورة رقم 5، ص 357).

وعلى الرغم من أننا نرى ضوء الشمس بلون موحد أو متجانس، إلا أنه يتكون من مختلف الأطوال الموجية بدءاً من الأشعة فوق البنفسجية في المقام الأول ثم الأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي (CCRS, 2007)، ويمكن أن يظهر الجزء المرئي من هذا الإشعاع في الألوان المكونة له عندما يتم تمرير أشعة الشمس من خلال المنشور الذي يقسم الضوء وفقاً للأطوال الموجية (صورة رقم 6، ص 357).

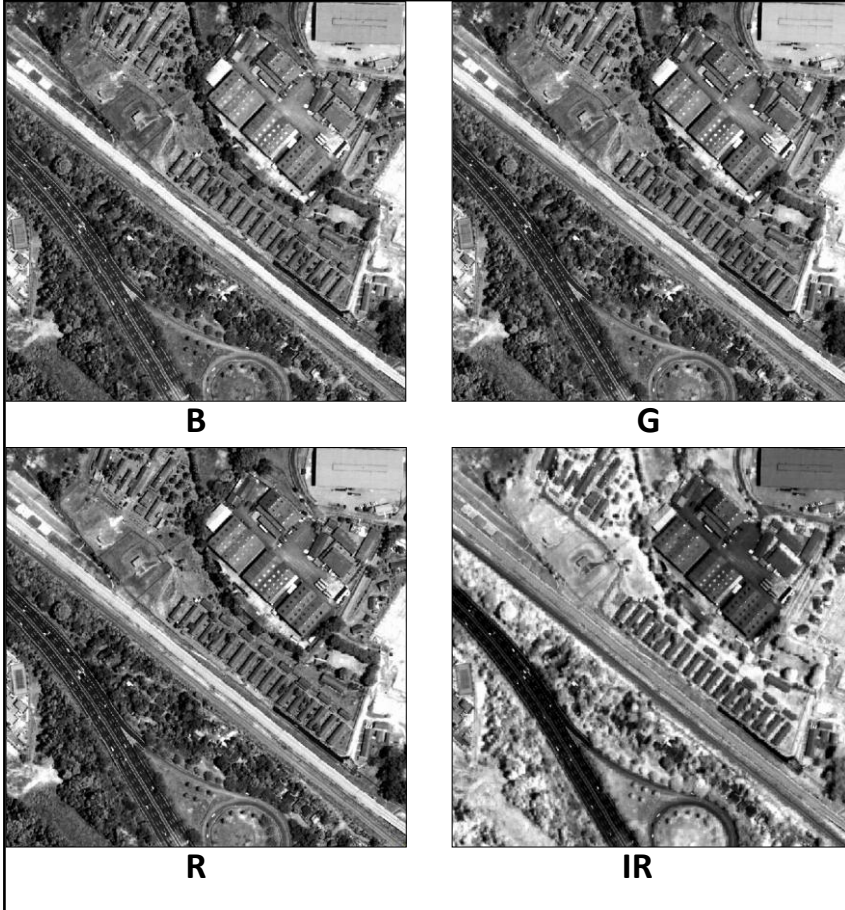
جدول (2.1): الألوان الرئيسية في نطاق الطيف المرئي

| الضوء     | نطاق الموجة ( $\mu\text{m}$ ) |
|-----------|-------------------------------|
| الأحمر    | 0.780-0.622                   |
| البرتقالي | 0.622-0.597                   |
| الأصفر    | 0.597-0.577                   |
| الأخضر    | 0.588-0.492                   |
| الأزرق    | 0.492-0.455                   |
| البنفسجي  | 0.455-0.3690                  |

المصدر: (Jong and Meer, 2004)

يظهر شكل (2.5) مرئية فضائية للقمر الصناعي (IKONOS) لمبنى في مدينة كوالالمبور بماليزيا، وتتكون المرئية من أربع قنوات تمثل تدرجات اللون الرمادي، يتمثل الطيف المرئي الضوء الأزرق والأخضر والأحمر في الثلاث القنوات الأولى، والأشعة تحت الحمراء في القناة الرابعة، وتظهر المرئية الإمكانيات التي يقدمها علم الاستشعار عن بعد من خلال اختلاف الأطياف التي تظهر معالم مختلفة من سطح الأرض.

شكل (2.5): مرئية فضائية للمقمر الصناعي (IKONOS) تضم أربع قنوات تحتوي على أطيف الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء



المصدر: مركز الاستشعار عن بعد الماليزي (MACRS)

#### 2.2.4 نطاق الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet والأشعة السينية X-ray

يغطي نطاق الأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet) النطاق الطيفي من  $(0.03 \mu\text{m})$  إلى  $(0.4 \mu\text{m})$ ، وتلعب مستويات الطاقة الإلكترونية الدور

الرئيسي في تفاعل حالة الموجة وتستعمل المجسات فوق البنفسجية بشكل رئيسي لدراسة الأجواء الكوكبية أو لدراسة السطوح التي ينعدم فيها الغلاف الجوي بسبب عدم شفافية الغازات في هذه الأطوال الموجية القصيرة.

أما النطاق الطيفي للأشعة السينية X-ray فيتراوح من (0.03 nm) إلى (0.3 nm) وأشعة غاما (Gamma Rays) وطولها الموجي أقل من (0.03 nm) وتستخدمان على أقل مستوى بسبب عدم الشفافية في الغلاف الجوي واستخدامهما محدد بالمركبات الفضائية أو الطيران المنخفض (صورة رقم 7، ص 358).

وتجدر الإشارة إلى أن الأطياف المستعملة في الاستشعار عن بعد تنحصر في نطاقات الأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء والأشعة تحت الحمراء الحرارية وموجات المايكروويف جدول (2.2).

جدول (2.2): تفاعل نطاقات الطيف الكهرومغناطيسي مع الغلاف الجوي

| نوعية التفاعل مع الغلاف الجوي   | طول الموجة                                  | النطاق                            |
|---|---|-----------------------------------|
| أشعة مرسلية من الشمس وتمتص بشكل كامل في مناطق الغلاف الجوي العليا ولا يتم استخدامها في الاستشعار عن بعد إلا بواسطة طائرات التصوير | $< 0.03 \text{ nm}$                         | أشعة جاما                         |
| تمتص بشكل كامل في مناطق الغلاف الجوي ولا يتم استخدامها في الاستشعار عن بعد  | $0.03 - 30 \text{ nm}$                      | أشعة إكس                          |
| الطول الموجي الأقل من $0.3 \mu\text{m}$ يمتص بشكل كامل بواسطة الأوزون   | $0.03 - 0.4 \mu\text{m}$                    | الأشعة فوق البنفسجية              |
| تنفذ من خلال الغلاف الجوي ويمكن تسجيلها بواسطة الأفلام  | $0.3 - 0.4 \mu\text{m}$                     | الأشعة فوق البنفسجية الفوتوغرافية |
| يمكن تسجيلها بواسطة الأفلام والصور الفوتوغرافية   | $0.4 - 0.7 \mu\text{m}$                     | الأشعة المرئية                    |
| تتفاعل مع المواد على سطح الأرض بأطوال موجية مختلفة ومتعددة  | $0.7 - 100 \mu\text{m}$                     | الأشعة تحت الحمراء                |
| المرئيات الفضائية التي تؤخذ في هذه الأطوال الموجية تتم بواسطة ماسحات بصرية وليس بواسطة الأفلام                                    | $3 - 5 \mu\text{m}$<br>$8 - 14 \mu\text{m}$ | الأشعة تحت الحمراء الحرارية       |
| أشعة ذات أطوال موجية طويلة تستطيع اختراق السحب والضباب  | $0.1 - 100 \text{ cm}$                      | أشعة المايكروويف                  |
| الشكل النشط من أشعة المايكروويف المستخدمة في الاستشعار عن بعد وبأطوال موجية مختلفة  | $0.1 - 100 \text{ cm}$                      | الرادار                           |

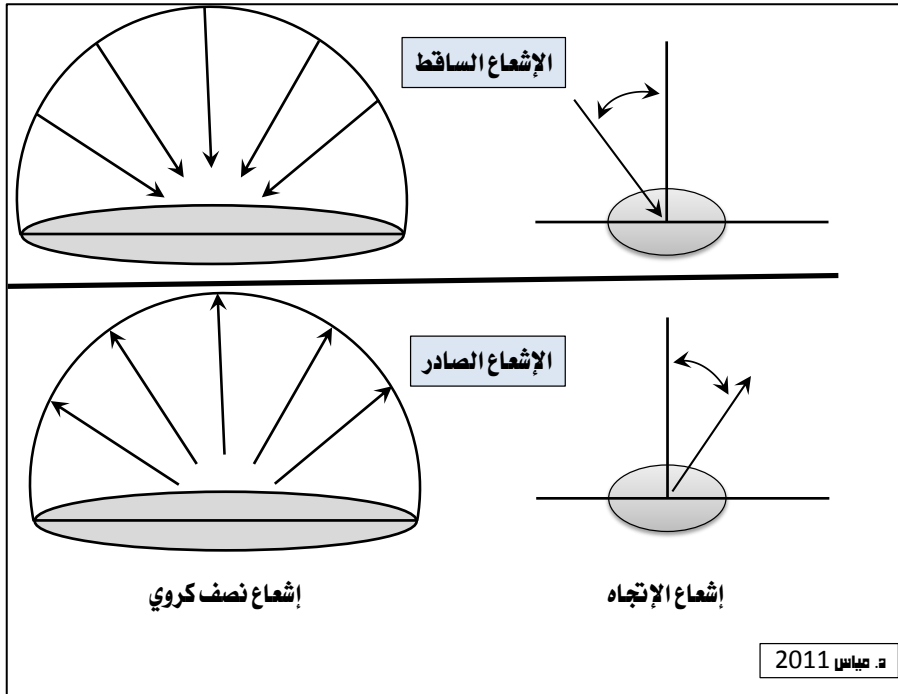
المصدر: (Holz, 1985)



### 2.3 مصطلحات الإشعاع Radiation Terminology

يهتم مستخدمي علم الاستشعار عن بعد بالقياسات الكمية لخصائص الإشعاع الكهرومغناطيسي، ولذلك من المهم توضيح المفاهيم والمصطلحات المتعلقة بهذا المجال، حتى يسهل قراءة ومعالجة وتحليل المرئيات الفضائية لمختلف مجسات الأقمار الصناعية، وغالباً فإن المصطلحات والوحدات المستخدمة في هذا القياسات ترتبط بهندسة الزوايا، وهناك نوعان من القياسات هي القياسات النصف كروية وقياسات الاتجاه شكل (2.6).

شكل (2.6): القياسات النصف كروية وقياسات الاتجاه



المصدر: رسم المؤلف استناداً إلى (Lillesand et al, 2004)

### القياسات نصف الكروية Hemispherical Measurements

هي قياسات إجمالي الطاقة المحتواة داخل نصف كرة وتسقط على الجسم أو السطح المراد قياسه.

### قياسات الاتجاه (الخطية) Directional Measurements

هو الإشعاع المقاس في اتجاه معين وتتأثر قياسات اتجاه الإشعاع بتأثير جيب تمام الزاوية.

#### 2.3.1 مفهوم زاوية الجسم الصلب Solid Angle

إن توضيح مفهوم زاوية الجسم الصلب يعتبر أساس فهم القياسات الكمية للإشعاع الكهرومغناطيسي، ولكن قبل ذلك لابد من توضيح مفهوم الزاوية المستوية (Plane Angle) التي تعرف بأنها الزاوية المحصورة بين خطين مستقيمين يتقاطعان في نقطة تقع على سطح ثنائي الأبعاد (Joseph, 2003)، فإذا كان المستقيم (PR) يدور عكس عقارب الساعة من نقطة (P) إلى (R) بحيث يشكل الخط المستقيم (PQ)، فإن الزاوية المحصورة بين (PQ) و (PR) تساوي  $(180^\circ)$  كما في شكل (2.7).

ويمكن توضيح مفهوم الزاوية المستوية بواسطة توضيح مصطلح الراديان (Radians)، فإذا رسمت دائرة وكان مركزها نقطة (P) ونصف قطرها  $(r)$ ، و القوس المرسوم بين الخطين (PQ) و (PR) يساوي (S)، فإن الزاوية المستوية تحسب من خلال المعادلة (2.9):

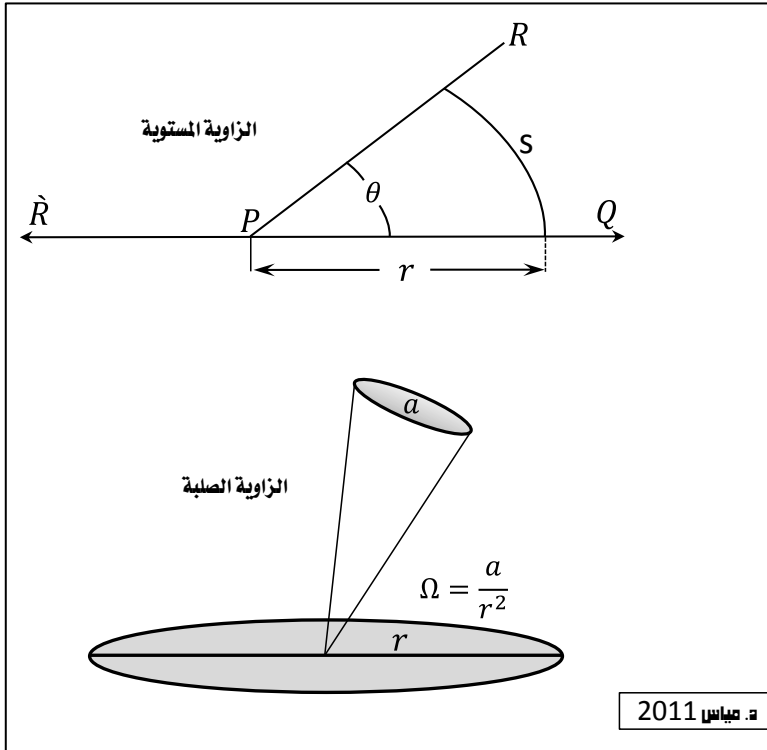
$$\theta_{pl} = \frac{S}{r} \text{ (rad)} \quad (2.9) \quad (\text{Joseph, 2003})$$

وبما أن طول القوس في نصف الدائرة يساوي  $(\pi r)$  فإن الزاوية  $(QPR)$  الموضحة في شكل (2.7) تحسب كما يلي:

$$QPR = \frac{\pi r}{r} = \pi \quad (2.9)$$

وكل 1 راديان يساوي  $(\frac{180^\circ}{\pi} = 57.33^\circ)$

شكل (2.7): مخطط يوضح مفهوم الزاوية المستوية والزاوية الصلبة



المصدر: رسم المؤلف استناداً إلى (Joseph, 2003)

## 2.3.2 طاقة الإشعاع Radiant Energy

هي كمية الطاقة التي تحملها الموجة الكهرومغناطيسية، وتعتبر مقياساً لقدرة الموجة عند التفاعل مع السطوح، ووحدة قياسها الجول ( $J$ ) ورمزها ( $Q$ ).

**وطاقة الإشعاع الطيفي (Spectral Radiant Energy) تشير إلى**

قياس كمية الطاقة لطول موجي محدد كما في العلاقة الرياضية (2.10):

$$Q_{\lambda} = \frac{dQ}{d\lambda} \quad (2.10)$$

## 2.3.3 التدفق الإشعاعي Radiant Flux

هو معدل تدفق الطاقة المشعة (المنبعثة أو المنقولة أو المستقبلية) على هيئة إشعاع كهرومغناطيسي من نقطة معينة أو سطح معين إلى سطح آخر خلال زمن محدد، ووحدة قياسه الواط ( $W$ ) أو (الجول في الثانية  $J s^{-1}$ )، ورمزه ( $\Phi$ )، شكل (2.8).

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (2.11)$$

## 2.3.4 كثافة التدفق الإشعاعي Radiant Flux Density

عبارة عن حجم التدفق الإشعاعي الساقط على سطح ما أو المنبعث منه مقسوماً على مساحة السطح، ووحدة قياسه الواط لكل متر مربع ( $W m^{-2}$ ).

وتنقسم كثافة الدفق الإشعاعي إلى نوعين هما:

الإشعاع الساقط Irradiance هو الإشعاع الساقط على السطح، ورمزه (E).

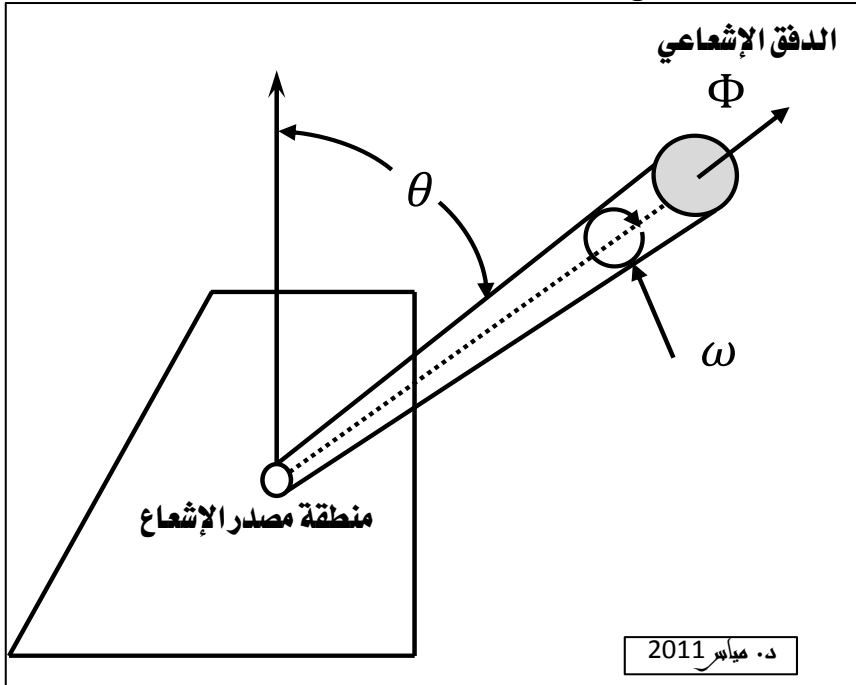
$$E = \frac{d\Phi}{da} \quad (2.12)$$

الإشعاع المنبعث Exitance هو الإشعاع المنبعث من السطح، ورمزه (M).

$$M = \frac{d\Phi}{da} \quad (2.13)$$

شكل (2.8): الدفق الإشعاعي للطاقة الكهرومغناطيسية المنعكسة من منطقة ما على

سطح الأرض (A) في الاتجاه ( $\theta$ ) وبزاوية ( $\omega$ ).



المصدر: رسم المؤلف استناداً إلى (Mather, 2004)

### 2.3.5 كثافة الدفق الإشعاعي الطيفي Radiant Spectral Flux Density

عبارة عن كثافة الدفق الإشعاعي لكل طول موجي محدد، وتضم الإشعاع الطيفي الساقط (Spectral Irradiance) ورمزه  $(E_\lambda)$ ، الإشعاع الطيفي المنبعث (Spectral Exitance) ورمزه  $(M_\lambda)$  ووحدة قياسهما الواط لكل متر مربع لكل مايكرومتر  $(Wm^{-2}\mu m^{-1})$ .

### 2.3.6 شدة الإشعاع Radiant Intensity

عبارة عن الدفق الإشعاعي المنبعث من نقطة المصدر والمار بزاوية الجسم المخروطي الصلب في الاتجاه المقاس، ووحدة قياسه الواط ستيراديان  $(Wsr^{-1})$ ، ورمزه  $(I)$ ، وإذا كانت نقطة المصدر تشع بشكل متساوي في كل اتجاه بدفق اشعاعي  $(\Phi)$ ، فإن كثافة الإشعاع تصبح  $(I = \frac{\Phi}{4\pi})$ ، إلا أنه لا يمكن إيجاد نقطة مصدر متكاملة وحقيقية، ولكن يمكن تقريب نقطة المصدر عندما يكون حجمها صغير جداً مقارنة مع المسافة المرصودة من المصدر، ويعتبر المصدر الذي يكون بعده أقل من عُشر المسافة المرصودة قريب نسبياً إلى نقطة المصدر.

### 2.3.7 الإشعاع Radiance

عبارة عن الدفق الإشعاعي المشع من وحدة مساحية على السطح والتي يُنظر إليها من خلال زاوية مجسم مخروطي مصمت ثلاثي الأبعاد في الاتجاه المقاس، ووحدة قياسه الواط لكل متر مربع لكل ستيراديان  $(Wm^{-2}sr^{-1})$ ، ورمزه  $(L)$ .

جدول (2.3): مصطلحات ورموز الإشعاع الكهرومغناطيسي

| الرمز                      | الوحدة   | الصيغة الرياضية                               | الرمز       | المصطلح                               |
|----------------------------|--|---|-------------|---------------------------------------|
| $J$                        | الجول  |   | $Q$         | الطاقة المشعة<br>Radiant Energy       |
| $W$                        | الواط  | $\frac{dQ}{dt}$                               | $\Phi$      | التدفق الإشعاعي<br>Radiant Flux       |
| $W/m^2$                    | واط لكل متر مربع                                   | $\frac{d\Phi}{dA} (in)$                       | $E$         | Irradiance                            |
| $W/m^2$                    | واط لكل متر مربع                                   | $\frac{d\Phi}{dA} (out)$                      | $M$         | Exitance                              |
| $\frac{W}{(m^2 \mu m)}$    | واط لكل متر مربع<br>لكل مايكرومتر                  | $\frac{dE}{d\lambda} (in)$                    | $E_\lambda$ | Spectral Flux<br>Density (Irradiance) |
| $\frac{W}{(m^2 \mu m)}$    | واط لكل متر مربع<br>لكل مايكرومتر                  | $\frac{dM}{d\lambda} (out)$                   | $M_\lambda$ | Spectral Flux<br>Density (Exitance)   |
| $Wsr^{-1}$                 | الواط ستيراديان                                    | $\frac{d\Phi}{d\omega}$                       | $(I)$       | Radiant Intensity                     |
| $\frac{W}{(m^2 sr)}$       | واط لكل متر مربع<br>لكل ستيراديان                  | $\frac{d^2\Phi}{\cos\theta dA d\omega} (out)$ | $L$         | Radiance                              |
| $\frac{W}{(m^2 sr \mu m)}$ | واط لكل متر مربع<br>لكل ستيراديان لكل<br>مايكرومتر | $\frac{dL}{d\lambda}$                         | $L_\lambda$ | Spectral Radiance                     |

فإذا افترضنا بأن الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يصل إلى سطح الجسم يرتد مرة أخرى من الجسم وينتشر باتجاه الأعلى في كل الاتجاهات، فإنه يمكن قياس مقدار تدفق الإشعاع لكل زاوية منظورة تمثل وحدة مساحية داخل الجسم المخروطي شكل (2.8)، وهذه النسبة هي الاشعاع (Mather, 2004)، كما هو واضح من المعادلة (2.14):

$$\frac{d^2\Phi}{\cos\theta dA d\omega} \quad (2.14)$$

أما الإشعاع الطيفي (**Spectral Radiance**) ورمزه  $(L_\lambda)$ ، فهو عبارة عن الإشعاع (Radiance) لكل طول موجي محدد، ووحدة قياسه الواط لكل متر مربع لكل ستيراديان لكل مايكرومتر  $(Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$ .



## 2.4 مصادر الطاقة الكهرومغناطيسية EM Resources

لقد تمت الإشارة إلى أن الشمس تعتبر المصدر الرئيسي للطاقة الكهرومغناطيسية المستخدمة في تطبيقات الاستشعار عن بعد، ومع ذلك فكل الأجسام التي تكون درجة حرارتها أعلى من الصفر المطلق تبعث إشعاع كهرومغناطيسي، إلا أن توزيع كمية الإشعاع لكل طول موجي ليس موحد، وهذا يعني أن الشمس وكذلك الأرض تشع طاقة على شكل موجات، كما أن هناك اختلافاً بين قدرة كل جسم وآخر على امتصاص وإعادة إرسال الطاقة الكهرومغناطيسية.

وتعرف درجة الصفر المطلق بأنها (درجة الحرارة التي ينعدم عندها ضغط الغاز المثالي)، وتعني الحالة التي تكون درجة حرارة الجسم فيها أقل ما يمكن ان تصل اليه، وتقضي بأن ذرات أو جزيئات المادة تكون في أقل طاقة في تلك الحالة، وقد اكتشف العلماء ان أقل درجة حرارة تم قياسها هي  $(-273\text{ C}^\circ)$ .

وقد تمت معرفة ذلك عن طريق قياس العلاقة الطردية بين درجة حرارة الغازات وضغطها، وبالتجربة تبين أن ضغط الغاز يساوي صفر عند هذه الدرجة (Liang, 2008)، وتقاس بمقياس كلفن (Kelvin) ورمزه  $(K)$  وهو مقياس مرتبط بمقياس الدرجة المئوية (Celsius) طبقاً للعلاقة الرياضية (2.15):

$$K = C^\circ + 273 \quad (2.15)$$

## 2.4.1 إشعاع الجسم الأسود Black Body Radiation

إن أي جسم تزيد درجة حرارته فوق الصفر المطلق يبعث إشعاعاً كهرومغناطيسياً، ومن المهم معرفة أن إجمالي الطاقة المنبعثة من جسم ما تختلف باختلاف درجة حرارته المطلقة، كما أن الطاقة المنبعثة تتزايد بسرعة مع ارتفاع درجة حرارة الجسم.

وقد درج مصطلح (الجسم الأسود) كتعبير مجازي للأجسام أو المواد التي تمتص طاقة الإشعاع الكهرومغناطيسي الواقعة عليها، ومن ثم تبعثها بشكل كامل، ولذلك يعتبر الجسم الأسود مشع تام ويختلف مقدار الإشعاع من جسم لآخر.

ويمكن حساب درجة حرارة الجسم الأسود بواسطة قانون بلانك (Planck's Law) كما في المعادلة (2.16) (Joseph, 2003):

$$M_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 [\exp(ch/\lambda\sigma T_K) - 1]} \quad (2.16)$$

حيث أن:

$M_{\lambda}$  = spectral radiance exitance ( $W m^{-2} \mu m^{-1}$ )

$h$  = ثابت بلانك وتساوي ( $6.6262 \times 10^{-34} J/sec$ )

$c$  = سرعة الضوء، و  $T_K$  = درجة حرارة الجسم الأسود

$\sigma$  = ثابت ستيفان - بولتزمان وتساوي ( $5.6697 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ )

إن إجمالي كمية الطاقة المشعة بواسطة جسم ما تعتمد على درجة حرارته المطلقة ويمكن حساب ذلك باستخدام المعادلة (2.17) التي تعرف بقانون ستيفان بولتزمان (Stefan-Boltzmann):

$$M = \sigma T_K^4 \quad (2.17) \quad (\text{Lillesand et al. , 2004})$$

حيث أن:

$$M = \text{إجمالي الإشعاع المنبعث من سطح المادة ويقاس بالوات (W/m}^{-2}\text{)}$$

$$\sigma = \text{ثابت ستيفان - بولتزمان وتساوي (5.6697 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}\text{)}$$

إن شكل (2.9) يوضح منحنى توزيع الطاقة للأجسام السوداء في درجات الحرارة التي تتراوح بين (200K) إلى (6000K)، والقيم الموجودة في المحور العمودي (Y) تمثل كثافة الدفع الإشعاعي ( $W m^{-2} \mu m^{-1}$ ) الصادرة من الأجسام السوداء، وكل منحنى يمثل القيمة الكلية للطاقة المنبعثة بدرجة حرارة معينة، والمنحنيات الموجودة في شكل (2.9) تفسر قانون "ستيفن - بولتزمان"، الذي يشير إلى أنه كلما كانت درجة حرارة الجسم أعلى، كلما كان مقدار الإشعاع الكلي الذي يبعثه أكبر وطوله الموجي أقصر.

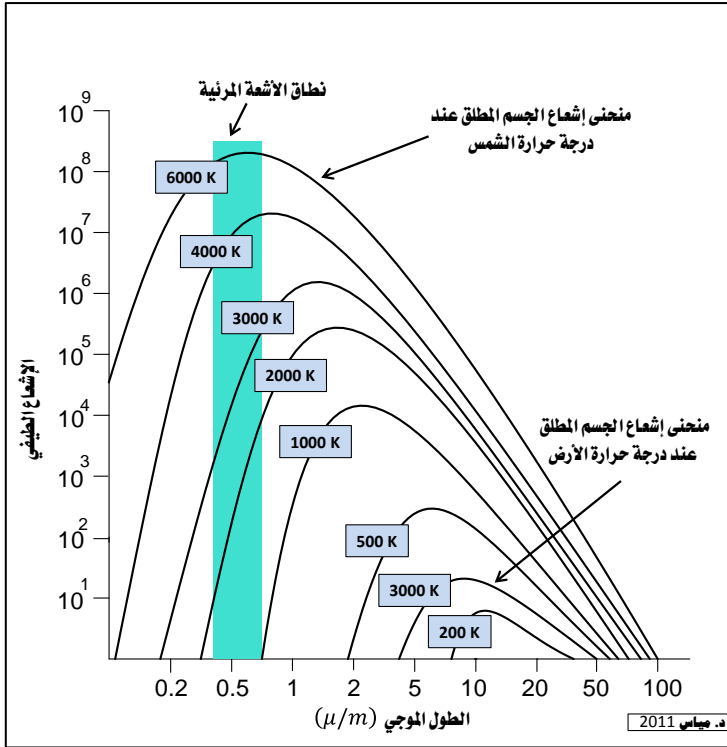
كما يبين شكل (2.9) وجود إزاحة في منحنيات توزيع إشعاع الأجسام المطلقة نحو الأطوال الموجية الأقصر، إن أقصى إشعاع للأجسام المطلقة يسمى الطول الموجي السائد (Dominant Wavelength) ويعزى ذلك إلى قانون وينز للإزاحة (Wien's Displacement Law)، وعن طريق هذا القانون يمكن

حساب أقصى انبعاث حراري للأطوال الموجية القصوى ( $\lambda_{max}$ ) طبقاً للمعادلة (2.18):

$$\lambda_{max} = \frac{A}{T_K} \quad (2.18) \quad (\text{Lillesand et al. , 2004})$$

حيث أن:  $\lambda_{max}$  = أقصى طول موجي للإشعاع الطيفي الصادر من الأجسام ( $\mu\text{m}$ )، و  $A = 2898$ ، و  $T_K$  = درجة الحرارة بالكالفن

شكل (2.9): منحنى توزيع الطاقة للأجسام السوداء



المصدر: رسم المؤلف استناداً إلى (Lillesand et al, 2004)

ويتطبيق المعادلة (2.18) نجد أن قيمة ذروة الانبعاث الحراري الأرضي المفترضة تبلغ  $(9.7 \mu m)$ ، ولذلك فإن المجسات الحرارية على الأقمار الصناعية تعمل عادة في النطاق الطيفي من  $(8 \mu m)$  إلى  $(14.7 \mu m)$ ، أما النطاق الطيفي بين  $(3 \mu m)$  و  $(5 \mu m)$  فيمكن استعماله لاستكشاف المظاهر المحلية التي تكون حرارتها أعلى من بقية المظاهر المجاورة لها مثل حرائق الغابات واستكشاف درجة الحرارة ليلاً.

إن قانون بلانك يوضح العلاقات الطيفية بين درجة الحرارة والخصائص الإشعاعية للجسم الأسود عند حدوث توازن في ديناميكا الحرارة، فهناك توازن عالمي بين الحرارة المكتسبة من أشعة الشمس والحرارة المفقودة، وتبين الصورة رقم 8، ص 358، الدفق الإشعاعي الشمسي والطاقة المنبعثة من الأرض، وكيف أن الدفق الإشعاعي الشمسي يضعف بشكل كبير أثناء مروره بالغلاف الجوي.

## 2.5 تفاعل الطاقة الكهرومغناطيسية مع الغلاف الجوي

إن حوالي 35% من الإشعاع الساقط على الأرض ينعكس مرة أخرى إلى الغلاف الجوي ويمتص الغلاف الجوي 17% من الإشعاع في حين أن 48% يتم امتصاصها بواسطة الأجسام الموجودة على سطح الأرض، كما نجد أن حوالي 46% من مجموع الطاقة الكلية المرسله من الشمس تقع في نطاق الطيف المرئي، وتتفاعل الطاقة الكهرومغناطيسية أثناء مرورها بالغلاف الجوي مع الجزيئات والغازات العالقة به (Liou, 2002)، وينقسم هذا التفاعل إلى نوعين هما التشتت والامتصاص، وكليهما يتفاوتان في تأثيرهما من طيف كهرومغناطيسي إلى آخر.

### 2.5.1 التشتت (التبعثر) Scattering

يتسبب التشتت أو التبعثر بحرف الإشعاع الساقط عن مساره ويحدث نتيجة للتفاعل بين الإشعاع الكهرومغناطيسي وجزيئات الغاز أو الجزيئات الأخرى الموجودة في الغلاف الجوي، وتتراوح هذه الجزيئات في الحجم من جزيئات مجهرية (تساوي تقريباً نفس طول موجات الإشعاع الكهرومغناطيسي) إلى جزيئات بحجم قطرة المطر، وينقسم التشتت إلى ثلاثة أقسام وذلك على النحو التالي:

### تشتت رايلي Rayleigh Scattering

يسود تشتت رايلي حينما يتفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي بالجزيئات العالقة في الغلاف الجوي التي يكون حجمها أصغر من الطول الموجي للإشعاع

الساقط، ومن أمثلة هذه الجزيئات الصغيرة جداً الغبار وجزيئات النيتروجين والأكسجين، ويحسب معامل التشتت طبقاً للمعادلة (2.19):

$$\sigma_{\lambda} = 4\pi^2 \frac{NV^2(n^2 - n_0^2)^2}{\lambda^4(n^2 + n_0^2)^2} \quad (2.19) \quad (\text{Landgrebe, 2003})$$

حيث أن:

$$N = \text{عدد الجزيئات لكل } (cm^3)$$

$$V = \text{حجم تشتت الجزيئات}$$

$$n = \text{مؤشر الانكسار الإشعاعي للجزيئات}$$

$$n_0 = \text{مؤشر الانكسار الإشعاعي للإشعاع الكهرومغناطيسي}$$

إن تشتت الموجات القصيرة أكثر من الموجات الطويلة، ويعزى ذلك إلى أن حجم التشتت يتناسب عكسياً مع مربع قوة الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي ( $\lambda^4$ )، فعلى سبيل المثال نجد أن مقدار تشتت الضوء الأزرق ( $0.4 \mu m$ ) يبلغ 16 ضعف الأشعة تحت الحمراء القريبة ( $0.8 \mu m$ ) ولذلك نشاهد بأن لون السماء هو اللون الأزرق، وهو نتيجة لهذا النوع من التشتت، فلو انعدم وجود هذه الجزيئات في الغلاف الجوي فإن السماء ستبدو سوداء، فأشعة الشمس تجتاز الغلاف الجوي ويحدث تشتت للطول الموجي الأزرق أكثر من الأطوال الموجية المرئية الأخرى، أما عند شروق الشمس وغروبها فإن أشعة الشمس تقطع مسافة أطول أثناء مرورها بالغلاف الجوي ولذلك تبدو السماء برتقالية أو حمراء.

ويمتاز تشتت رايلي بحدوث استقطاب قوي لأشعة الشمس الساقطة، ويزداد الاستقطاب بقوة عند شروق الشمس وغروبها، وبناءً على ذلك يجب أن تؤخذ قوة الاستقطاب في الاعتبار عند استخدام مقياس الاستقطاب أثناء قياس الأشعة المرئية وتحت الحمراء الساقطة على سطح الأرض (Egan, 2004)، ويمكن القول بأن تشتت رايلي يعتمد على الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي ولا يعتمد على الظروف الجوية السائدة في الغلاف الجوي.

### تشتت مي *Mie Scattering*

يحدث تشتت مي عندما يكون طول موجة الإشعاع القادم مماثل في الحجم لجزيئات الغلاف الجوي وتعتبر جزيئات الغازات وبخار الماء وذرات الغبار من أكبر المسببات لحدوث هذا النوع من التشتت، ويقتصر على المناطق المنخفضة من الغلاف الجوي حيث تتواجد جزيئات الغلاف الجوي بشكل كبير ومركز.

### التشتت الانتقائي *Nonselective Scattering*

يحدث عندما يكون حجم الجزيئات أكبر من الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي وتعتبر قطرات الماء وجزيئات الغبار الكبرى هي المسؤولة عن حدوث هذا النوع من التشتت، ومن أبرز الأمثلة على ذلك تأثير الغيوم خاصة الغيوم التي تشتمل على قطرات الماء، ولا تستطيع أقمار الاستشعار عن بعد البصرية اختراق الغيوم التي تعتبر مؤثر رئيسي في حجب مظاهر سطح الأرض في نظم التصوير السالبة، إضافة إلى وجود ظلال الغيوم على سطح الأرض كمؤثر ثانوي.



## 2.5.2 الإمتصاص Absorption

الإمتصاص هو الآلية الرئيسية الأخرى في تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع الغلاف الجوي، يقوم الغلاف الجوي بامتصاص جزء من الطاقة الكهرومغناطيسية قبل وصولها إلى سطح الأرض، وأكثر عناصر الغلاف الجوي الرئيسية التي تقوم بامتصاص الأشعة الشمسية هي غاز الأوزون وبخار الماء وثاني أكسيد الكربون والماء.

يقوم غاز الأوزون بامتصاص الأشعة فوق البنفسجية المرسله من الشمس وهي أشعة ضارة تعمل على تدمير الأنسجة في الكائنات الحية، ومن دون وجود هذا الغاز في الغلاف الجوي، فإن جلد الكائنات الحية تتعرض للحروق وتتعرض لسرطان الجلد عند نفاذية هذه الأشعة إلى سطح الأرض أو عند تعرض جسم الإنسان لأشعة الشمس لفترة طويلة، أما غاز ثاني أكسيد الكربون فيقوم بامتصاص جزء من الأشعة تحت الحمراء البعيدة ويتسبب في إحتباس الحرارة داخل الغلاف الجوي، وهو الغاز الرئيسي المرتبط بمشكلة الاحتراس الحراري، أما بخار الماء في الغلاف الجوي فيمتص جزء كبير من الأشعة تحت الحمراء، إضافة إلى أجزاء بسيطة من الموجات القصيرة (الميكروويف).

إضافةً إلى ما سبق، فإن وجود بخار الماء في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي يختلف اختلافاً كبيراً من موقع إلى آخر وفي أوقات مختلفة من السنة، فعلى سبيل المثال، نجد أن كتلة الهواء فوق المناطق الصحراوية تحتوي على مقدار قليل جداً من بخار الماء لامتصاص الأشعة الكهرومغناطيسية، في حين أن

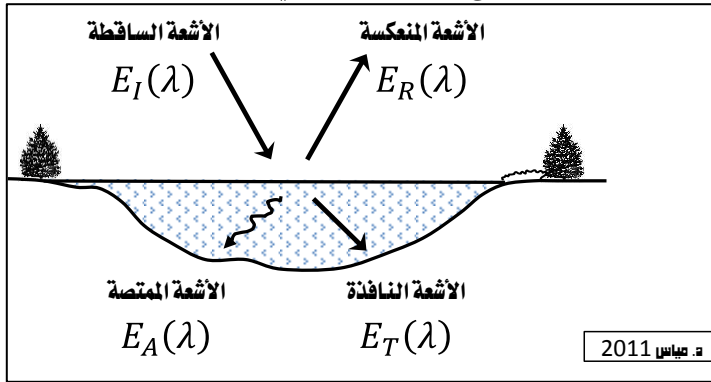
المناطق الاستوائية تحتوى على معدلات عالية من بخار الماء تزيد من تركيز الرطوبة العالية، وبالتالي تساهم بشكل كبير في امتصاص أجزاء واسعة من الأشعة الكهرومغناطيسية (CCRS, 2007).

إن هذه الغازات تقوم بامتصاص الطاقة الكهرومغناطيسية في مناطق محددة جداً من الطيف، وبالتالي فالأطوال الموجية الأخرى من الطيف الكهرومغناطيسي التي لا تتأثر بالامتصاص من قبل جزيئات الغلاف الجوي، تسمى (نوافذ جوية)، ينفذ منها الإشعاع الكهرومغناطيسي إلى سطح الأرض (صورة رقم 9، ص 359)، وتعتبر مفيدة ويمكن استغلالها والاستفادة منها في نظم الاستشعار عن بعد.

## 2.6 تفاعل الطاقة الكهرومغناطيسية مع مظاهر سطح الأرض

يعتبر الإشعاع الكهرومغناطيسي المنعكس من سطح الأرض من أهم المواضيع التي يجب التركيز عليها ودراستها بشكل كامل، لأنه يحدد خصائص الانعكاس من الأجسام الموجودة على سطح الأرض، حيث تحدث ثلاثة أنواع من تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع الأجسام على سطح الأرض هي (الانعكاس، والامتصاص، والنفذية)، كما هو موضح في شكل (2.10).

شكل (2.10): تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع الظواهر على سطح الأرض



المصدر: رسم المؤلف استناداً إلى (Lillesand et al., 2004)

إن خصائص الأشعة الكهرومغناطيسية المنعكسة والامتصّة والنافذة تعتمد على الطول الموجي للطاقة الكهرومغناطيسية ونوعية وحالة الأجسام على سطح الأرض، مما يسمح بإمكانية تمييز مختلف الأجسام الظاهرة في المرئية الفضائية، ويمكن عرض العلاقة المتبادلة بين الأنواع السابقة من خلال المعادلة (2.20) (Lillesand et al., 2004) وذلك كالتالي:

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda) \quad (2.20)$$

حيث أن:

$E_I$  = الإشعاع الساقط (incident energy)

$E_R$  = الإشعاع المنعكس (reflected energy)

$E_A$  = الإشعاع الممتص (absorbed energy)

$E_T$  = الإشعاع النافذ (transmitted energy)

وهناك مسألتان هامتان يمكن أخذهما في الاعتبار، الأولى أن خصائص الإشعاع بأنواعه المنعكس، والممتص، والنافذ، يتغير مع مختلف الأجسام على سطح الأرض تبعاً لنوعية المادة وظروفها، مما يسمح بالتمييز بين تلك الأجسام، وبالتالي من الممكن الحصول على البصمة الطيفية لكل ظاهرة سواءً كانت طبيعية أو بشرية.

والمسألة الثانية أن الأطوال الموجية تختلف من جسم لآخر على سطح الأرض، وبما أن أنظمة الاستشعار عن بعد تعمل في عدة نطاقات موجية، فلا يمكن تمييز ظاهرتين مختلفتين في نطاق طيفي واحد، ولكن يمكن تمييز إحداها عن الأخرى عند اختلاف أطوال موجات الأشعة، فتغير طول الموجة ضمن نطاق الطيف المرئي يعطي تغيراً في اللون، فنجد أن الجسم الذي يظهر بلون أحمر يمتص جميع الأطياف ويعكس القسم الأحمر من الطيف.

إن من المهم معرفة اختلاف خصائص انعكاس الأجسام على سطح الأرض المختلفة وذلك من خلال المعادلة (2.21):

$$E_R(\lambda) = E_I(\lambda) - E_A(\lambda) + E_T(\lambda) \quad (2.21)$$

حيث أن الإشعاع المنعكس يساوي الإشعاع الساقط على جسم ما، ناقصاً الإشعاع الممتص والإشعاع النافذ، ويعتمد الشكل الهندسي للإشعاع الساقط والمنعكس على درجة خشونة الجسم.

### 2.6.1 الانعكاس Reflectance

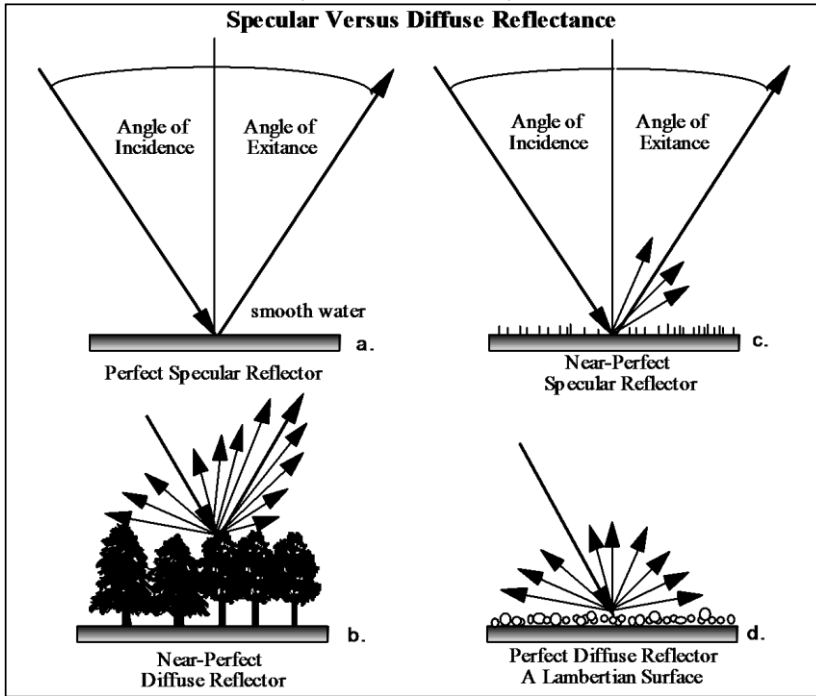
إن مقدار الطاقة المنعكسة يعتمد أساساً على ثلاثة عناصر هي حجم الإشعاع الساقط على السطح، وخشونة السطح، ونوعية السطح، وتعتبر خشونة السطح من الظواهر التي تعتمد على الطول الموجي، فعندما يكون الطول الموجي طويل يظهر سطح الجسم بشكل أكثر نعومة والنعكس، وبشكل عام، هناك نوعان من انعكاس الإشعاع الكهرومغناطيسي مع الظواهر الموجودة على سطح الأرض شكل (2.11) هما كالتالي:

#### الانعكاس المتناظر *Specular Reflectance*

يحدث عندما يكون السطح المواجه للإشعاع الكهرومغناطيسي ناعماً ويكون معظم الإشعاع الساقط عليه في اتجاه واحد، وتكون زاوية سقوط الأشعة على الهدف مساوية لزاوية الانعكاس، ولذلك فإن هذا السطح يكون مشابهاً

للمرآة خاصة في حالة الإشعاع الكهرومغناطيسي طويل الموجة حوالي  $(10 \mu\text{m})$  ولكنه يكون خشناً إلى حد ما في الإشعاع قصير الموجة حوالي  $(0.5 \mu\text{m})$ .

شكل (2.11): الانعكاس المتناظر والانعكاس المنتشر



المصدر: (Jensen, 2000)

### الانعكاس المنتشر Diffuse Reflectance

يحدث هذا النوع من الانعكاس عندما يكون السطح خشناً بحيث ينعكس الإشعاع المغناطيسي بشكل غير منظم وفي كل الاتجاهات، وبشكل عام فإن

الانعكاس يعتمد على خشونة سطح الجسم مقارنة مع طول موجة الإشعاع القادم وشدة الموجة وقدرة الأجسام على الامتصاص، وهذا الانعكاس أفضل من الانعكاس المتناظر وأكثر فائدة في نظم الاستشعار عن بعد، وتعتبر جميع الأجسام على سطح الأرض خشنة بشكل نسبي وبذلك يمكن تمييزها عن بعضها البعض، مما يفسر ظهور المناطق الجبلية بشكل ناعم في مرئيات المجسات النشطة كالرادار، بينما قد تظهر بشكل خشن إلى حد ما في مرئيات المجسات البصرية.

توضح الصورة (رقم 10، ص 360) متوسط الانعكاس الطيفي للنباتات والمياه والتربة في نظم التصوير البصري السالب، فانعكاس النباتات الخضراء يتفاوت بشكل واضح في الطول الموجي، فأقل انعكاس يحدث عند الطول الموجي  $(0.4 \mu m)$  في الأشعة الزرقاء داخل نطاق الطيف المرئي، بينما أعلى انعكاس يحدث في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة وجزء من الأشعة تحت الحمراء المتوسطة، وبالمقارنة نجد أن انعكاس التربة يتزايد بتزايد الطول الموجي، لكن انعكاس التربة في الطيف المرئي أفضل من انعكاس النباتات الخضراء، وانعكاس المياه بشكل عام قليل لاسيما في الأطوال الموجية التي تلي الطيف المرئي.

## 2.6.2 النفاذية Transmission

يخترق الإشعاع الكهرومغناطيسي سطح بعض المواد مثل المياه، والمواد الشفافة والرقيقة ذات البعد الواحد، ولكن تتناقص قيمة الاختراق مع زيادة حجم الجسم، إلا أن الأشعة النشطة مثل الرادار لا تخترق المياه.

**2.6.3 الامتصاص Absorption**

بعض الإشعاعات يتم امتصاصها بواسطة الأجسام وبشكل متفاوت من جسم لآخر، وتقوم هذه الأجسام ببعث هذه الإشعاعات مرة أخرى، خاصة ذات الموجات الأطول.



## 2.7 خصائص الانعكاس والامتصاص

يهتم علم الاستشعار عن بعد بتمييز مختلف الظواهر على سطح الأرض من خلال اختلاف كل ظاهرة عن الظواهر المحيطة بها، ويطلق على هذه الخاصية مصطلح البصمة الطيفية (Spectral Signature)، ويتم ذلك بواسطة معرفة الطول الموجي للأشعة المنعكسة لكل ظاهرة بحيث تختلف كل ظاهرة موجودة عن الأخرى بطول موجي.

وتصنف الظواهر الموجودة على سطح الأرض بحسب البصمة الطيفية إلى خمسة مظاهر رئيسية (Joseph, 2003) هي: النباتات والغابات، التربة والصخور، المعادن، المياه، الثلوج، المظاهر البشرية.

وسيتم شرح ثلاثة منها هي النباتات والتربة والمياه نظراً لوجودها في أغلب أراضي اليابسة أما الظواهر البشرية فهي متنوعة وكثيرة جداً، ولذلك فإن المستخدم لبيانات الاستشعار عن بعد يعتمد على الدراسة الميدانية لكل الظواهر التي يتم دراستها.

### 2.7.1 النباتات

تتنوع النباتات الموجودة على سطح الأرض مثل الغابات والمزارع والأحراش والنبات الطبيعي، وبسبب أهمية النبات كمصدر للغذاء والدواء وامتصاصها لغاز ثاني أكسيد الكربون وإنتاج الأكسجين، فدراستها تعد من أهم تطبيقات تكنولوجيا الاستشعار عن بعد، وتعتمد خصائص انعكاس الأشعة

الكهرومغناطيسية من النباتات على خصائص الأوراق بما في ذلك وضعية الورقة والغطاء العلوي، ونسبة الإشعاع المنعكس في مناطق مختلفة من الطيف يعتمد على نسبة تصبغ الورقة، وسمكها وتركيبها (هيكل الخلية) وكمية الماء في أنسجة الورقة.

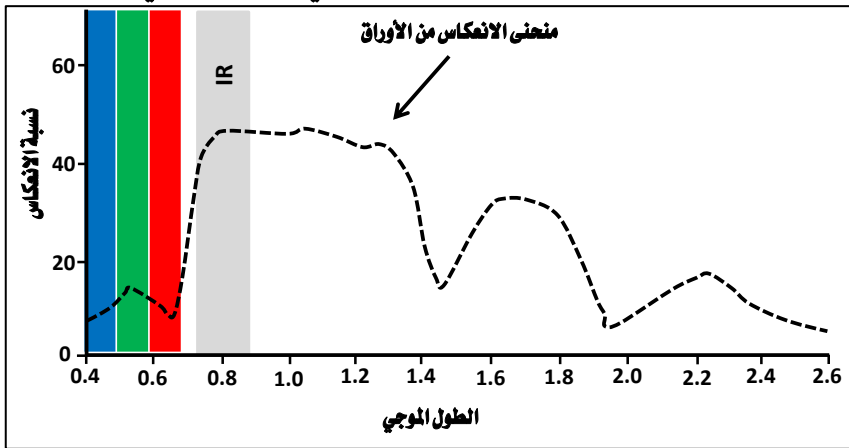
### نطاق الأشعة المرئية

يختلف الانعكاس الطيفي للنبات من طول موجي إلى آخر في نطاق الأشعة المرئية ( $0.4 - 0.7 \mu m$ )، فنجد أن صبغات أوراق النبات تهيمن على امتصاص الأشعة الكهرومغناطيسية، فالكلوروفيل يمتص معظم الأشعة الساقطة في نطاقي الأشعة الزرقاء ( $0.45 \mu m$ ) والأشعة الحمراء ( $0.67 \mu m$ )، ويعكس الأشعة الخضراء بقوة ولذلك نرى النباتات بلون أخضر، ومع ذلك نجد أن نسبة الامتصاص بواسطة الأوراق أوسع من امتصاص الكلوروفيل (Joseph, 2003).

وعندما تقل نسبة الكلوروفيل في النبات بسبب إصابة النبات بأي مرض قد يعيق نموه يزداد انعكاس الأشعة الحمراء من النباتات وهذا يعني أن لون النبات قد تحول من الأخضر إلى الأصفر، ويظهر شكل (2.12) منحنى الانعكاس المثالي للغطاء النباتي، في نطاق الطيف المرئي، يكون انعكاس الضوء الأزرق والأحمر منخفض نسبياً، بسبب امتصاص النباتات لهما، وفي فترة الجفاف يتغير لون الأوراق إلى اللون الأصفر ولا يوجد تمثيل ضوئي، مما يزيد من انعكاس الضوء الأحمر، كما أن جفاف الأوراق يؤدي إلى ارتفاع انعكاس الأشعة تحت

الحمراء المتوسطة، في حين أن الانعكاس في الأشعة تحت الحمراء القريبة قد تناقص، ولذلك فبيانات الاستشعار عن بعد تقدم معلومات هامة عن نوع النبات، وحالته الصحية.

شكل (2.12): منحنى الانعكاس المثالي للغطاء النباتي



المصدر: رسم المؤلف استناداً إلى (Janssen and Gerrit, 2001)

### نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة

يتحكم التركيب الداخلي لأوراق النبات في المقام الأول في انعكاس الأشعة الكهرومغناطيسية الواقعة ضمن نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة ( $0.7 \mu m$ ) إلى ( $1.3 \mu m$ )، وتتراوح نسبة مايعكسه النبات بين 45% إلى 50% من الأشعة الكهرومغناطيسية في هذا النطاق، وحوالي 5% من الأشعة يتم امتصاصها بواسطة النبات، وتزيد نسبة انتشار وتشتت الأشعة تحت الحمراء القريبة عن الأشعة المرئية بسبب أن امكانية اختراق الإشعاع الكهرومغناطيسي

لسطوح أوراق النباتات ضمن نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة مقارنة بالأشعة المرئية (Lillesand et al., 2004).

### نطاق الأشعة تحت الحمراء القصيرة

توجد في نطاق الأشعة تحت الحمراء القصيرة ( $1.3 - 2.7 \mu m$ ) ثلاثة نطاقات لامتناهات الماء هي ( $1.4 \mu m$ ) و ( $1.9 \mu m$ ) و ( $2.7 \mu m$ )، فنجد أن فمحتوى المياه الموجود في أوراق النبات يؤثر في خصائص انعكاس و نفاذية الأشعة الكهرومغناطيسية

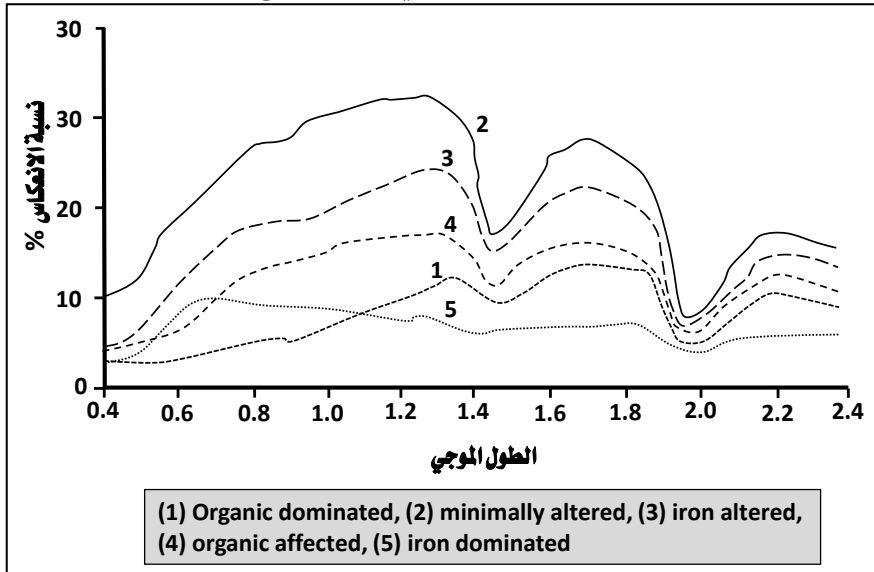
## 2.7.2 التربة

يطلق مصطلح التربة عادةً على الطبقة السطحية المفككة التي تغطي سطح الأرض، لكن علماء التربة يعتبرونها جسم ثلاثي الأبعاد ناتج من التجوية الفيزيائية والكيميائية والحيوية للصخور التي برزت إلى السطح في الاتجاهين الأفقي والرأسي (Joseph, 2003)، وتختلف التربة من منطقة لأخرى في البنية واللون والنسيج والسمك، شكل (2.13)، وتتكون من حبيبات مختلفة الحجم، وقد تم تصنيف التربة إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي:

|      |         |
|------|---------|
| Clay | الطينية |
| Silt | الطمي   |
| Sand | الرملية |

ويعتمد الانعكاس من سطح التربة الجرداء (الخالية من النباتات) على عوامل كثيرة بحيث يصبح من الصعوبة رسم منحى الانعكاس النموذجي لكل نوع، وتعتمد الأشعة الكهرومغناطيسية المنعكسة على الطبقة العليا من التربة، كما أن المعوقات التي تعيق نفاذية وانعكاس الأشعة مثل الغطاء النباتي، وتعدد المعادن التي تتكون منها كل تربة يصعبان من دراسة التربة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد.

شكل (2.13): الإنعكاس الطيفي لخمسة أنواع من المعادن



المصدر: رسم المؤلف استناداً إلى (Janssen and Gerrit, 2001)

إن التربة الرطبة تظهر عادة بلون غامق في المرئيات الفضائية والصور الجوية، وكلما زاد محتوى رطوبة التربة كلما قل انعكاس الأشعة

الكهرومغناطيسية، كما أن تركيز المواد العضوية في التربة يؤثر في لون التربة ويجعله أكثر غمقاً الأمر الذي يقلل من درجة انعكاس الأشعة من التربة، إضافة إلى أن تركيز أكاسيد الحديد في التربة يقلل من انعكاس الأشعة الكهرومغناطيسية بشكل كبير خاصة في النطاق المرئي، حيث نجد أن أكاسيد الحديد تعكس الضوء الأحمر في نطاق الأشعة المرئية بينما تمتص الضوء الأخضر، شكل (2.13).

### 2.7.3 المياه

إن مقدار ما انعكسه المياه من الإشعاع الكهرومغناطيسي ضئيل مقارنة بالنباتات والتربة، فالنباتات تعكس حوالي 50% والتربة تعكس بين 30% إلى 40%، بينما تعكس المياه حوالي 10% من الإشعاع الكهرومغناطيسي، وتعكس المياه الإشعاع الكهرومغناطيسي في النطاق الطيفي المرئي وحتى الأشعة تحت الحمراء القريبة، وتعتبر المياه العكرة التي تحتوي على الغرين، وكذلك المياه المختلطة بالنباتات الخضراء التي تحتوي على الكلوروفيل هي أكثر المياه العاكسة للطاقة الكهرومغناطيسية (Janssen and Gerrit, 2001).