مادة التحسس النائي
(Remote Sensing)

لطلبة المرحلة الثالثة

قسم الفيزياء

كلية التربية للعلوم الصرفة/ ابن الهيثم

جامعة بغداد

الأستاذ الدكتور تغريد عبد الحميد ناجي

2026 /2025

الفهرس

		رقم الصفحة
الفصل الأول: مقدمة		
1-1	تعريف التحسس النائي	1
2-1	الاشعاع الكهرومغناطيسي	2
3-1	المجال الكهرومغناطيسي	4
4-1	التفاعل مع الغلاف الجوي	11
5-1	التفاعل مع الأهداف	14
6-1	التحسس النائي الموجب و السالب	18
7-1	خصائص المرئيات	19
الفصل الثاني: الاقمار الصناعية والمتحسسات		
1-2	التحسس النائي من على الأرض و من الجو و من الفضاء	21
2-2	خصائص الأقمار الصناعية	22
3-2	درجة الوضوح المكانية و حجم الخلية والمقياس	25
4-2	درجة الوضوح الطيفية	28
5-2	درجة الوضوح الراديومترية	30
6-2	درجة الوضوح الزمنية	31
7-2	المسح متعدد الأطياف	33
8-2	التصوير الحراري	36
9-2	التحسس النائي بالموجات القصيرة	37
10-2	التشوه الهندسي في المرئيات	39
11-2	أقمار و متحسسات الطقس	40
12-2	أقمار و متحسسات أرصاد الأرض	41
13-2	أقمار و متحسسات أرصاد البحرية	45
14-2	متحسسات أخرى	46
15-2	استقبال و بث و معالجة البيانات	48
الفصل الثالث: تقنيات التحسس النائي واستخدامها في التنمية المستدامة		50
الفصل الرابع: أنواع أنظمة التصوير		54
1-4	التصوير خارج النطاق المرئي للطيف الكهرومغناطيسي	54

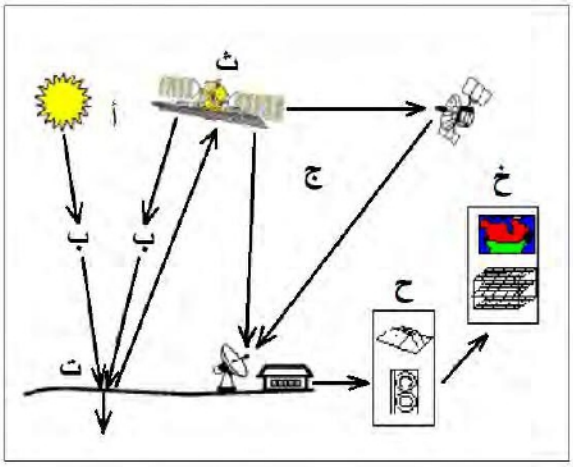
2-4	التصوير في نطاق الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء	60
3-4	التصوير بالنطاق المايكرويف	61
4-4	التصوير بالنطاق الراديوي	62
5-4	الاستخدامات الرئيسية لأنظمة التصوير	64
6-4	مصادر صور أنظمة التصوير	64
	المراجع	65

الفصل الاول: مقدمة الى التحسس النائي

1-1 ما هو التحسس النائي؟

التحسس النائي هو العلم والتكنولوجيا لجمع المعلومات عن سطح الأرض والظواهر باستخدام أدوات لا تتصل مباشرا مع الموضوع الذي تتم دراسته, وذلك من خلال تحسس و تسجيل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة ومعالجتها و تحليلها وتطبيق هذه المعلومات.

في معظم تقانات التحسس النائي فأن هذه العملية تشمل التفاعل بين الاشعاع الساقط و الأهداف ذاتها. ولتبسيط هذه العملية توجد سبعة عناصر متفاعلة مع بعضها و هي كالاتي:



شكل (1-1) مكونات عملية التحسس النائي

1. مصدر الطاقة أو مصدر الاضاءة:

يمثل أول متطلبات عملية التحسس النائي في وجود مصدر طاقة Energy source يقوم بإضاءة أو توفير طاقة كهرومغناطيسية electromagnetic energy للأهداف المطلوبة.

2. الاشعاع و الغلاف الجوي:

تمر الطاقة من مصدرها و حتى وصولها للأهداف المطلوبة من خلال الغلاف الجوي atmosphere ومن ثم ستتفاعل معه. وقد يتم هذا التفاعل مرة أخري عندما تسير أو تنعكس الطاقة من الأهداف الي أجهزة التحسس النائي أو المتحسسات sensors .

3. التفاعل مع الأهداف:

عندما تمر الطاقة خلال الغلاف الجوي لتصل الي الاهداف فأنها تتفاعل مع كل هدف طبقا لخصائص كلا من الهدف و الاشعاع.

4. تسجيل الإشعاع الكهرومغناطيسي بواسطة المتحسسات:

بعد أن تنعكس أو تنبعث الطاقة من الأهداف فأننا نحتاج لجهاز التحسس النائي (sensor) ليس متلامسا مع الهدف لتجميع و تسجيل هذا الاشعاع الكهرومغناطيسي.

5. الارسال و الاستقبال و المعالجة:

تحتاج الطاقة التي تم تسجيلها بواسطة المتحسسات الي ارسالها في صورة الكترونية غالبا الى محطة استقبال و معالجة حيث يتم معالجة البيانات وتحويلها الي مرئية image رقمية و أحيانا ورقية.

6. التفسير و التحليل:

يتم تفسير و تحليل المرئية المسجلة سواء بصريا أو رقميا بهدف استخراج المعلومات عن الأهداف التي تم تحسسها عن بعد.

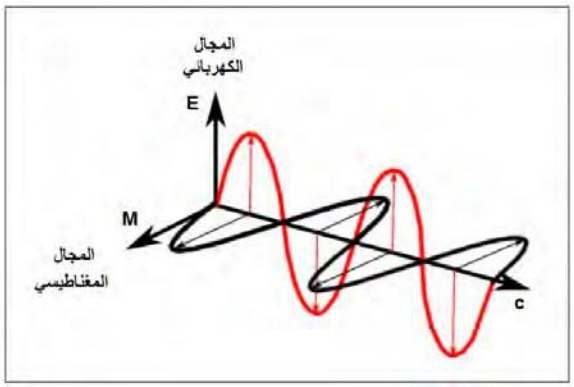
7. التطبيق:

يتمثل العنصر الأخير من عناصر عملية التحسس النائيفي تطبيق المعلومات التي تم الحصول عليها عن الأهداف بهدف الفهم الأفضل والحصول على معلومات جديدة عن هذه الأهداف ومن ثم المساعدة في حل مشكلة معينة.

2-1 الاشعاع الكهرومغناطيسي:

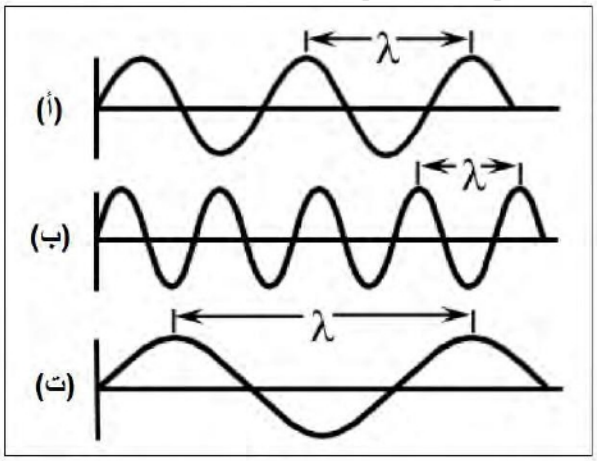
أول متطلبات عملية التحسس النائي هو وجود مصدر طاقة يضئ الأهداف (في حالة أن الطاقة لا تنبعث من الأهداف ذاتها). وتكون هذه الطاقة في صورة اشعاع كهرومغناطيسي. وللإشعاع الكهرومغناطيسي خصائص أساسية و يتصرف بطريقة محددة طبقا لقوانين نظرية الموجات.

يتكون الاشعاع الكهرومغناطيسي من مجال كهربائي Electrical Field (E) والذي يتغير في القيمة في اتجاه عمودي علي اتجاه سريان الاشعاع و مجال مغناطيسي Magnetic Field (M) يتعامد على المجال الكهربائي ومن هنا جاء مصطلح الكهرومغناطيسي. وكلا المجالين الكهربائي و المغناطيسي يسيران بسرعة الضوء (c) .



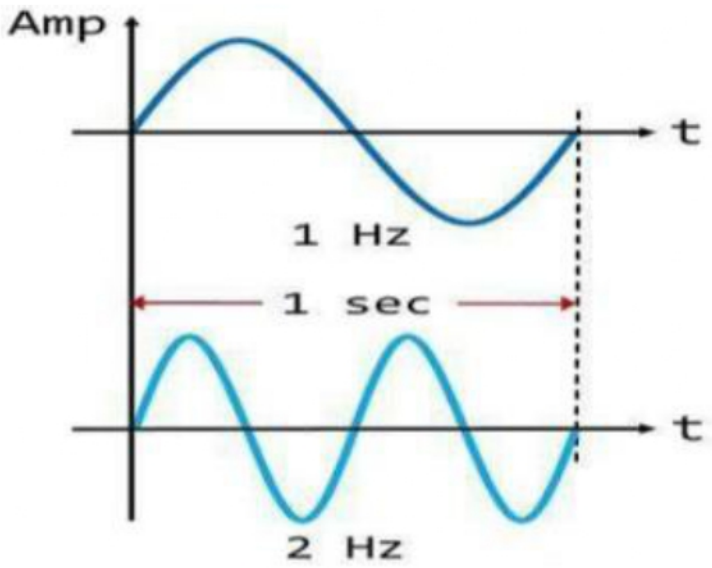
شكل (1-2) الاشعاع الكهرومغناطيسي

و هناك خاصيتين أساسيتين للإشعاع الكهرومغناطيسي لهما أهمية خاصة في فهم عملية التحسس النائي، و هما خاصيتي: طول الموجة و التردد.



شكل (1-3) طول الموجة في الاشعاع الكهرومغناطيسي

طول الموجة wavelength هو طول دورة كاملة، ويمكن قياسه كمسافة بين قمتين متتاليتين، وعادة ما يرمز له بالحرف اللاتيني λ (لامدا). ويقاس طول الموجة بوحدات المتر (m) أو أجزاء منه مثل النانو متر (nm) الذي يساوي جزء من بليون (10^{-9}) من المتر، أو الميكرومتر (μm) الذي يساوي جزء من مليون (10^{-6}) من المتر، أو السنتيمتر (cm) الذي يساوي جزء من مائة (10^{-2}) من المتر. أما التردد frequency فهو عدد قمم الموجة (اوعدد موجات الموجة) في فترة زمنية محددة. ويقاس التردد بوحدات الهرتز hertz (Hz) و هو موجة واحدة في الثانية، ومضاعفات الهرتز (1 هرتز يعادل دورة واحدة او موجة واحدة في الثانية كما في الشكل الاتي).



شكل (1-4) تردد الموجة في الاشعاع الكهرومغناطيسي

العلاقة بين طول الموجة و التردد تعبر عنها المعادلة التالية:

$$c = \lambda v \qquad (1)$$

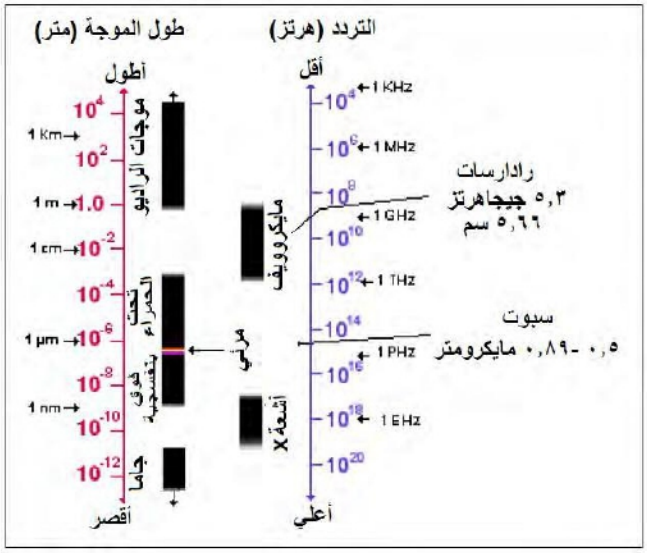
حيث:

c سرعة الضوء = ٣×١٠ ^ ٨ متر/ث،
λ طول الموجة بالمتر،
v التردد (بالهرتز أي عدد الموجات/ث).

تبين المعادلة (1) أن طول الموجة و التردد لهما علاقة عكسية، فكلما قصر طول الموجة أرتفع التردد وكلما زاد طول الموجة انخفض التردد. وتجدر الاشارة الي أن فهم خصائص الاشعاع المغناطيسي هام للغاية لفهم المعلومات التي يمكن الحصول عليها من عملية التحسس النائي.

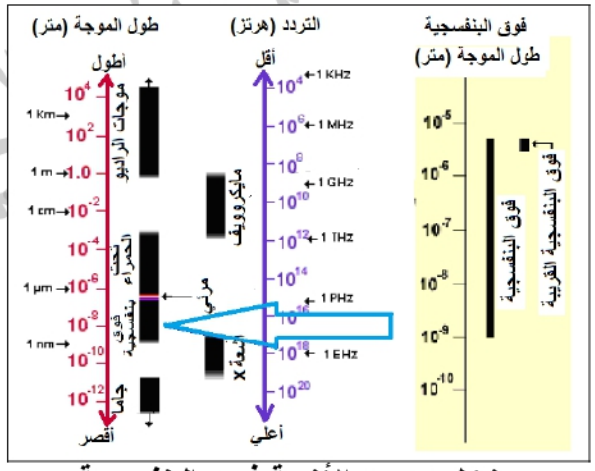
3-1 المجال الكهرومغناطيسي:

يتراوح المجال الكهرومغناطيسي بين أطوال موجات قصيرة (مثل أشعة جاما gamma و الاشعة السينية x-ray) وأطوال موجات طويلة (مثل الموجات القصيرة أو المايكروويف microwaves و موجات الراديو radio waves). وهناك عدة مناطق في المجال الكهرومغناطيسي مفيدة للتحسس النائي.



شكل (1-5) المجال الكهرومغناطيسي

الاشعة فوق البنفسجية Ultraviolet (أو اختصارا UV) لها أقصر طول موجة مما يجعلها عملية لبعض أنواع التحسس النائي. وهذا الجزء من المجال الكهرومغناطيسي يقع مباشرة خلف الاشعة البنفسجية من الضوء المرئي، ومن هنا جاء أسمه. ومع ذلك فأن الاشعة فوق البنفسجية متغيرة الى حد كبير في الغلاف الجوي وبالتالي لاتستخدم في مجال التحسس النائي.



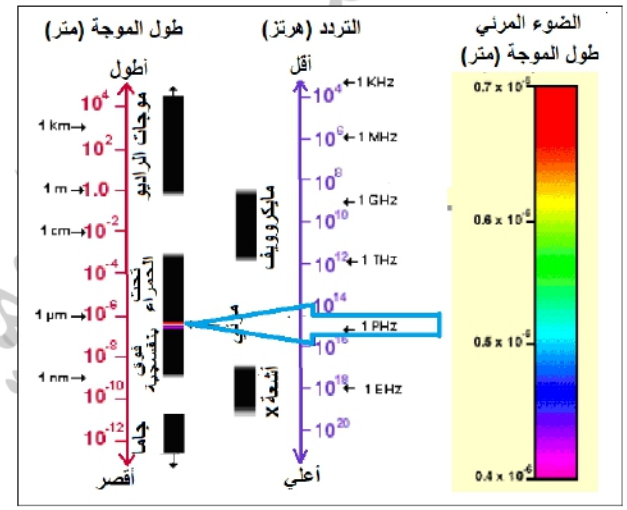
شكل (1-6) الأشعة فوق البنفسجية

ان الضوء الذي تراه أعيننا هو جزء من المجال الكهرومغناطيسي المرئي visible spectrum. وهو قليل بالمقارنة ببقية المجال الكهرومغناطيسي كما هو موضح بالشكل الاتي.

أي أن هناك الكثير من أنواع الاشعاع حولنا لكن أعيننا لا تستطيع رؤيتها، ولذلك تسمي أشعة غير مرئية invisible، لمن يمكن تحسسها أو استشعارها من خلال أجهزة التحسس النائي ومن تم الاستفادة منها. يغطي الضوء المرئي مجالا يتراوح بين (0.4 – 0.7) مايكرومتر. الضوء الأحمر له أطول موجة في مكونات الضوء المرئي، بينما اللون البنفسجي له أقصر طول موجة كما هو موضح بالشكل الاتي, حيث تشمل مكونات الضوء المرئي الألوان الاتية:

- البنفسجي violet : طول موجة ٠.٤ - ٠.٤٤٦ مايكرومتر
- الأزرق blue : طول موجة ٠.٤٤٦ - ٠.٥٠٠ مايكرومتر
- الأخضر green : طول موجة ٠.٥٠٠ - ٠.٥٧٨ مايكرومتر
- الأصفر yellow : طول موجة ٠.٥٧٨ - ٠.٥٩٢ مايكرومتر
- البرتقالي orange : طول موجة ٠.٥٩٢ - ٠.٦٢٠ مايكرومتر
- الأحمر red : طول موجة ٠.٦٢٠ - ٠.٧ مايكرومتر

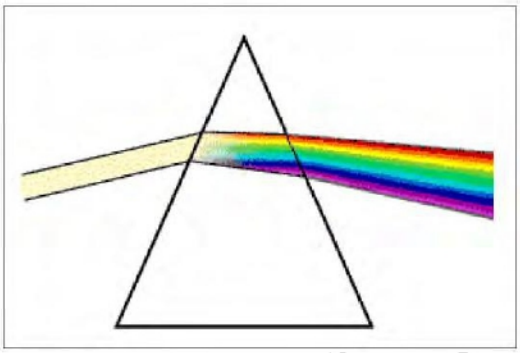
الضوء المرئي هو الجزء الوحيد من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يمكن ربطة بمفهوم اللون.



شكل (1-7) الضوء المرئي

يعد الأزرق و الأخضر و الأحمر الألوان الأساسية في المجال المرئي، وذلك بسبب أن أي لون أساسي واحد لا يمكن أن يتكون من الألوان الأخرى بينما كل الألوان الأخرى مركبة من هذه الألوان الأساسية بنسب مختلفة يتم تحديد لون الكائن او لون المنطقة الارضية من خلال لون الضوء الذي يعكسة.

ومع أننا نرى ضوء الشمس كأنه لون متجانس homogeneous أو منتظم uniform إلا أنه في الحقيقة مركب من عدة مركبات أو عدة أطوال موجة من مجال الاشعاع ومنها الاشعة فوق البنفسجية و الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء. ويمكن رؤية مكونات الجزء المرئي من الاشعاع الكهرومغناطيسي عندما نمرر الضوء من خلال منشور prism كما في الشكل الاتي:



شكل (1-8) مركبات الضوء المرئي

جدول (1-1) يوضح المناطق الرئيسية للطيف الكهرومغناطيسي

اسم المنطقة	طولها الموجي	خصائصها العامة
أشعة كاما	< 0.03 nanometers	يمتص الغلاف الجوي العلوي للأرض أشعة كاما. لذلك هذه الأشعة غير متوفرة ولا يمكن استخدامها في مجال التحسس النائي.
الأشعة السينية	0.03 to 30 nanometers	يمتص الغلاف الجوي للأرض الأشعة السينية. لذلك هذه الأشعة غير متوفرة ولا يمكن استخدامها في مجال التحسس النائي.
الاشعة فوق البنفسجية	0.03 to 0.4 micrometers	موجات الاشعة فوق البنفسجية يتم امتصاصها من خلال الأوزون الموجود في الغلاف الجوي للأرض. وهذه المنطقة من الطيف الكهرومغناطيسي تقع مباشرة خلف الاشعة البنفسجية من الطول الضوء المرئي ، ومن هنا جاء اسمها. وتوجد بعض المواد على سطح الارض (صخور ومعادن معينة) ينبعث منها ضوء مرئي عندما تقع عليها الأشعة فوق البنفسجية. ومع ذلك ، فإن الأشعة فوق البنفسجية مبعثرة إلى حد كبير في الغلاف الجوي للأرض ، وبالتالي لا تستخدم في مجال التحسس النائي.

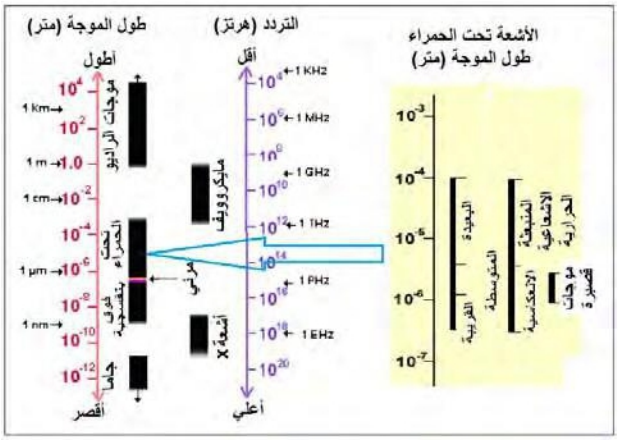
أشعة الضوء المرئية	0.4 to 0.7 micrometers	أشعة الضوء المرئية هي النطاق الضيق للإشعاع الكهرومغناطيسي. والتي تمتد من حوالي 0.4 ميكروميتر (اللون البنفسجي) إلى حوالي 0.7 ميكروميتر (اللون ألاحمر). تتوفر أشعة الضوء المرئية ويمكن استخدامها في مجال التحسس النائي. يمكن اكتشاف وتصوير اشعة الضوء المرئية باستخدام الفلم الفوتوغرافي وأجهزة الكشف الضوئية. الضوء المرئي هو الضوء الذي تستطيع أعيننا اكتشافه. وهو الجزء الوحيد من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يمكن ربطه بمفهوم اللون. الأزرق والأخضر والأحمر هما الألوان الأساسية الثلاثة للطيف المرئي. يتم تعريفها على هذا النحو لأنه لا يمكن إنشاء لون أساسي واحد من اللونين الآخرين ، ولكن يمكن تكوين جميع الألوان الأخرى من خلال الجمع بين هذه الألوان الأساسية الثلاثة بنسب مختلفة. يتم تحديد لون الكائن او لون المنطقة الارضية من خلال لون الضوء الذي يعكسه.
الأشعة تحت الحمراء المنعكسة	0.7 to 3.0 micrometers	الجزء التالي من الطيف هو منطقة الأشعة تحت الحمراء المنعكسة. تتوفر الأشعة تحت الحمراء المنعكسة ويمكن استخدامها في مجال التحسس النائي. الأشعة تحت الحمراء المنعكسة لها أطوال موجية أطول من الجزء الأحمر من الطيف المرئي. تتكون هذه المنطقة من الأشعة تحت الحمراء القريبة والأشعة تحت الحمراء المتوسطة، والتي تُعرف بأنها مناطق طيف الأشعة تحت الحمراء الأقرب إلى طيف الضوء المرئي. تغطي الأشعة تحت الحمراء المنعكسة أطوال موجية تتراوح من 0.7 ميكرومتر إلى 3.0 ميكرومتر. يستخدم الإشعاع في منطقة الأشعة تحت الحمراء المنعكسة لأغراض الاستشعار عن بعد بطرق مشابهة جدًا للإشعاع في الجزء المرئي. لذلك ، يمكن اكتشاف الأشعة تحت الحمراء القريبة وتصويرها باستخدام فلم فوتوغرافي ومرشحات وكاميرات ذات تصميمات مشابهة لتلك المخصصة للاستخدام مع الضوء المرئي.
الأشعة تحت الحمراء الحرارية (الأشعة تحت الحمراء البعيدة)	3.0 to 100 micrometers	تمثل منطقة الأشعة تحت الحمراء الحرارية (أو الأشعة تحت الحمراء البعيدة) الإشعاع المنبعث من سطح الأرض في شكل طاقة حرارية (أو حرارة). يُشار أحيانًا إلى هذا الجزء من الطيف باسم الأشعة تحت الحمراء المنبعثة. الأشعة تحت الحمراء الحرارية متوفرة ويمكن استخدامها في مجال التحسس النائي. لا يمكن التقاط هذا الطول الموجي بفيلم فوتوغرافي. وبدلًا من ذلك ، يتم استخدام مستشعرات خاصة لاكتشاف وتصوير الأشعة تحت الحمراء الحرارية. تغطي الأشعة تحت الحمراء الحرارية أطوال موجية من حوالي 0.3 ميكرومتر إلى 100 ميكرومتر. أطوال موجات الأشعة تحت الحمراء الحرارية مفيدة لرصد تغيرات

	.	درجات الحرارة في الأرض والمياه والجليد
المايكروويف أو الرادار	0.1 to 100 centimeters	أشعة موجات المايكروويف متوفرة ويمكن استخدامها في مجال التحسس النائي. يمكن أن تمر الأطوال الموجية الأطول لهذ الاشعة عبر السحب والضباب والمطر. ويمكن إنشاء الصور باستخدام هذا الجزء من الطيف من خلال استخدام مستشعرات تنبعث منها موجات المايكروويف. الميزة الرئيسية لهذا الطيف هي قدرته على اختراق السحب والضباب والمطر.
الموجات الراديوية	> 100 centimeters	هي الجزء الأطول موجة من الطيف الكهرومغناطيسي. وهذه الموجات غير متوفرة ولا يمكن استخدامها في مجال التحسس النائي.

الجزء الهام من المجال الكهرومغناطيسي هو الاشعة تحت الحمراء Infrared (أو اختصارا IR) والذي يغطي أطوال موجات من 0.7 تقريبا الي 100 مايكرومتر، أي أنه مائة مرة أعرض من الجزء المرئي. ويمكن تقسيم الاشعة تحت الحمراء الي مجموعتين بناءا علي خصائصهما الاشعاعية:

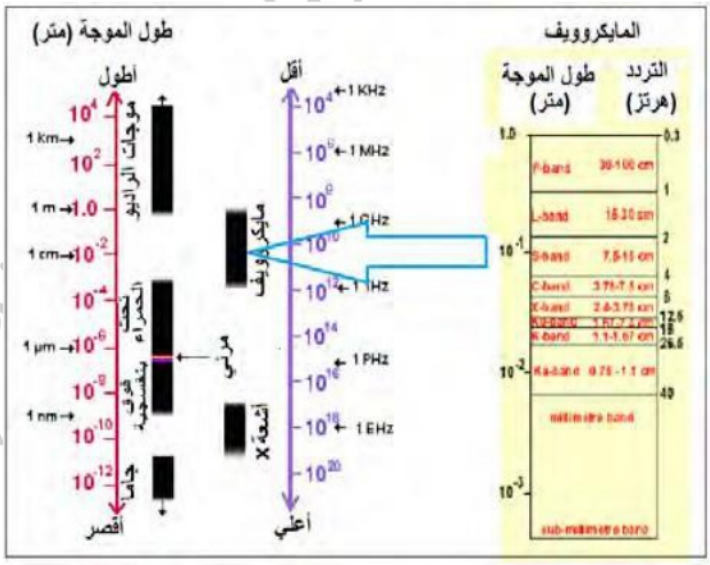
1. تحت الحمراء الانعكاسية Reflected IR (القريبة NIR والمتوسطة MIR).
2. تحت الحمراء الانبعاثية أو الحرارية Thermal IR (او البعيدة FIR).

تستخدم الاشعة تحت الحمراء في التحسس النائي بطريقة تماثل استخدام الضوء المرئي. والأشعة تحت الحمراء الانعكاسية تغطي أطوال موجات تقريبا من 0.7 الى 3.0 مايكرومتر. أما الاشعة تحت الحمراء الحرارية فتختلف تماما عن الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء الانعكاسية، فهذا الجزء من الطاقة الكهرومغناطيسية ينبعث أساسا من سطح الأرض في صورة حرارة. و تغطي الأشعة تحت الحمراء الحرارية أطوال موجات تقريبا بين (3.0 -100) مايكرومتر.



شكل (1-9) الأشعة تحت الحمراء

الجزء الذي أصبح حديثا مثارا للاهتمام في التحسس النائي هو الأشعة القصيرة أو المايكروويف microwave والذي يتراوح طول موجته ما بين 1 ملليمتر الي 1 متر. وهذا يمثل أطول موجات الاشعة المستخدمة في التحسس النائي, حيث يمكن ان تمر عبر السحب والضباب والمطر. وأشعة المايكروويف قصيرة طول الموجة لها خصائص مماثلة لخصائص الاشعة تحت الحمراء الحرارية، بينما تستخدم الاشعة طويلة الموجة في البث التلفزيوني و الاذاعي.



شكل (1-10) أشعة المايكروويف (الأشعة القصيرة)

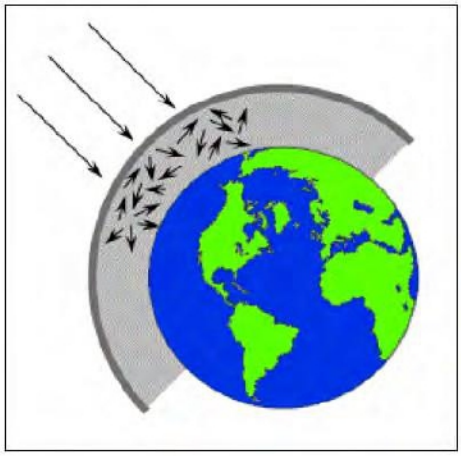
4-1 التفاعل مع الغلاف الجوى:

قبل أن يصل الاشعاع المستخدم في التحسس النائي الى سطح الأرض فأنه يمر بطبقات الغلاف الجوي، ومن الممكن أن تؤثر الجزئيات و الغازات الموجودة في الغلاف الجوي على هذا الاشعاع. وتكون أسباب هذه التأثيرات ما يعرف بالتشتت و الامتصاص.

يحدث التشتت scattering عندما توجد جزئيات كبيرة من الغازات في الغلاف الجوي مما يجعل الاشعاع الكهرومغناطيسي ينحرف أو يتشتت عن مساره الأصلي.

ويعتمد حجم هذا التشتت على عدة عوامل منها:

1. طول موجة الاشعاع
2. وفرة جزئيات الغازات
3. المسافة التي يقطعها الاشعاع خلال الغلاف الجوي.
4. الظروف او الإحوال الجوية



شكل (1-11) التشتت في الغلاف الجوي

يوجد ثلاثة أنواع من التشتت:

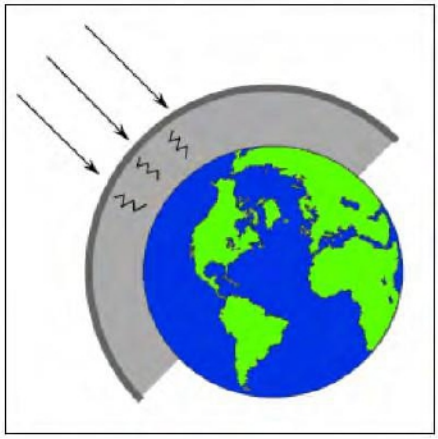
1. **تشتت رايلي Rayleigh:** يحدث عندما تكون قطرالجزئيات صغيرة جدا بالمقارنة بطول موجة الاشعاع $(D < \lambda)$ ، مثل جزئيات النتروجين و الاكسجين و ذرات التراب. ويؤثر هذا النوع من التشتت على الطاقة ذات أطوال الموجة القصيرة بدرجة أكبر من تلك ذات أطوال الموجة الكبيرة، وهو نوع التشتت الأكبر في الطبقات العليا من الغلاف الجوي.

وهذا التشتت هو السبب في رؤيتنا السماء باللون الأزرق خلال النهار حيث أن ضوء الشمس عندما يمر بالغلاف الجوي فأن الموجات القصيرة (الأزرق) من الضوء المرئي ستشتت و تنتشر بدرجة أكبر من الموجات الأطول موجة.

2. **تشتت مي Mie:** يحدث عندما تكون قطر الجزئيات بنفس حجم طول موجة الاشعاع ($D = \lambda$)، مثل جزئيات التراب و الدخان و بخار الماء. ويؤثر هذا النوع من التشتت على الطاقة ذات أطوال الموجة الطويلة بدرجة أكبر من تلك ذات أطوال الموجة القصيرة، ومن ثم فهو يحدث في الطبقات السفلي من الغلاف الجوي وخاصة عندما تكون السحب معتمة أو غائمة.
3. **التشتت غير الانتقائي Nonselective:** يحدث عندما تكون قطر الجزئيات أكبر من حجم طول موجة الاشعاع ($D > \lambda$) ، مثل جزئيات التراب الكبيرة وقطرات الماء. ويؤثر هذا النوع من التشتت على جميع أنواع الطاقة لجميع أطوال الموجات بدرجة متساوية، وهو المسبب لظهور الضباب و السحب باللون الأبيض لأعيننا حيث أن الألوان الأزرق و الأخضر و الأحمر ستشتت بنفس الدرجة.

يحدث **الامتصاص Absorption** بصورة مغايرة للتشتت، فالامتصاص يتسبب في أن تقوم جزئيات الغلاف الجوي بامتصاص الطاقة في أطوال الموجات المختلفة. ويعد الاوزون و ثاني أكسيد الكربون و بخار الماء العوامل الثلاثة المسببة للامتصاص.

1. الاوزون يمتص الاشعاع فوق البنفسجي الضار للإنسان، ولولا وجود هذه الطبقة في الغلاف الجوي لاحترق جلد الانسان عند التعرض لأشعة الشمس.
2. ثاني أكسيد الكربون فيمتص الاشعاع بقوة في نطاق الاشعة تحت الحمراء الحرارية (البعيدة) من مجال الطاقة الكهرومغناطيسية مما يتسبب في احتفاظ الغلاف الجوي بالحرارة وهو المؤدي لظاهرة الاحتباس الحراري.
3. بخار الماء يمتص الطاقة في كلا من نطاق الاشعة تحت الحمراء طويلة الموجة و أيضا الموجات القصيرة أو الميكروويف (بين 22 مايكرومتر و 1.0 متر). ويختلف وجود بخار الماء في الطبقات السفلي من الغلاف الجوي من مكان لآخر ومن وقت لآخر طوال العام، فعلي سبيل المثال فأن المناطق الصحراوية بها القليل من بخار الماء بينما المناطق المدارية بها تركيز أعلي من بخار الماء أي رطوبة عالية.



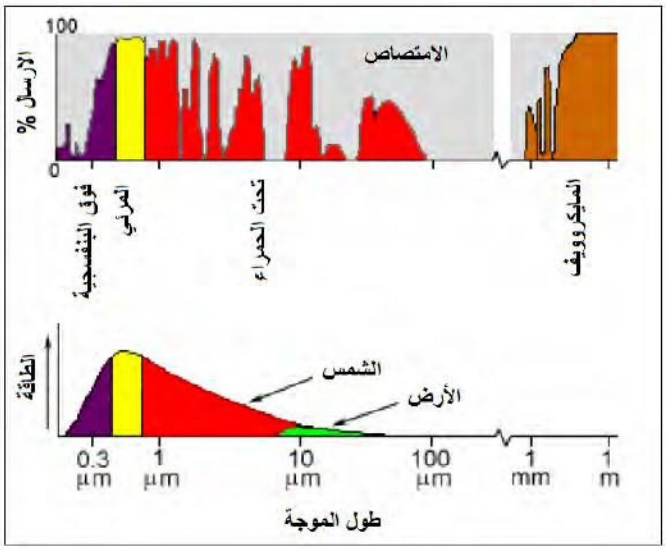
شكل (1-12) الامتصاص في الغلاف الجوي

جدول (1-2) يوضح خصائص تشتت الاشعاع وامتصاصة خلال الغلاف الجوي

التشتت الجوي	قطر الجسيم (D) بالنسبة لطول الموجة الساقط (λ)	النتيجة
رايلي	$D < \lambda$	الاطوال الموجية القصيرة مشتتة بفعل جزيئات النتروجين والاوكسجين وذرات التراب
مي	$D \cong \lambda$	الاطوال الموجية الطويلة مشتتة بفعل التراب والدخان وبخار الماء
غير انتقائي	$D \gg \lambda$	جميع الاطوال الموجية مشتتة بالتساوي بفعل جزيئات التراب الكبيرة وقطرات الماء
الامتصاص	لا توجد علاقة	يمتص الاوزون الاشعاع فوق البنفسجي, وثاني اوكسيد الكاربون يمتص الاشعة تحت الحمراء الحرارية وبخار الماء يمتص الاشعة تحت الحمراء القريبة والمتوسطة والاشعة القصرة او المايكروويف

حيث أن هذه الغازات تمتص الطاقة الكهرومغناطيسية بصور مختلفة في نطاق الطاقة فأنها تؤثر في تحديد النطاقات التي يمكن استخدامها في تطبيقات التحسس النائي. فالمناطق داخل نطاق الطاقة الكهرومغناطيسية التي لا تتأثر بشدة بالامتصاص في الغلاف الجوي تكون مناطق مفيدة للتحسس النائي, يطلق عليها نوافذ الغلاف الجوي (Atmospheric windows).

وبمقارنة خصائص مصدري الطاقة (أي الشمس و الأرض) مع نوافذ الغلاف الجوي المتاحة فيمكننا تحديد أطوال الموجات التي يمكن استخدامها بكفاءة في عملية التحسس النائي. فالجزء المرئي من نطاق الطاقة الكهرومغناطيسية يكون حساسا لنوافذ الغلاف الجوي و أيضا لقمة الطاقة الشمسية. أما الطاقة الحرارية المنبعثة من الأرض فأنها تكون في نافذة حوالي 10 مايكرومتر في نطاق الاشعة تحت الحمراء الحرارية، بينما النافذة الأكبر من أطوال الموجات بعد 1.0 ملليمتر تكون في نطاق الموجات القصيرة أو المايكروويف.



شكل (1-13) نوافذ الغلاف الجوي

5-1 التفاعل مع الأهداف:

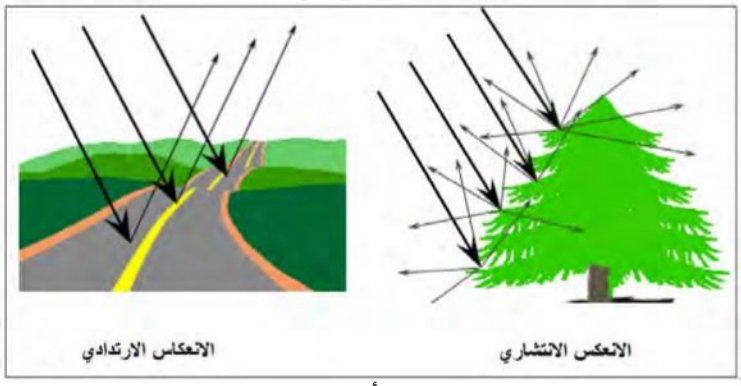
يمكن للإشعاع الذي لا يمتص أو يتناثر في الغلاف الجوي أن يصل و يتفاعل مع الأهداف الموجودة على سطح الأرض. وهناك ثلاثة صور للتفاعل هذه الطاقة الساقطة I (كما في الشكل الاتي):

الامتصاص A ، النفاذ T ، الانعكاس I ، ويتم التفاعل مع الاهداف في واحدة أو أكثر من هذه الصور بناءا على طول موجة الاشعاع و خصائص الأهداف ذاتها.

شكل (1-14) صور التفاعل مع الأهداف

يحدث الامتصاص absorption عندما يقوم الهدف بامتصاص الطاقة الساقطة بينما يحدث النفاذ transmission عندما يتم مرور الطاقة من خلال الهدف، ويحدث الانعكاس reflection عندما يعكس الهدف هذه الطاقة و يعيد توجيهها. وفي التحسس النائي فأننا نهتم بقياس الاشعاع المنعكس من هذه الأهداف الأرضية، وهنا يوجد نوعين من الانعكاس:

1. الانعكاس الارتدادي specular reflection
2. الانعكاس الانتشاريdiffuse reflection



شكل (1-15) أنواع الانعكاس

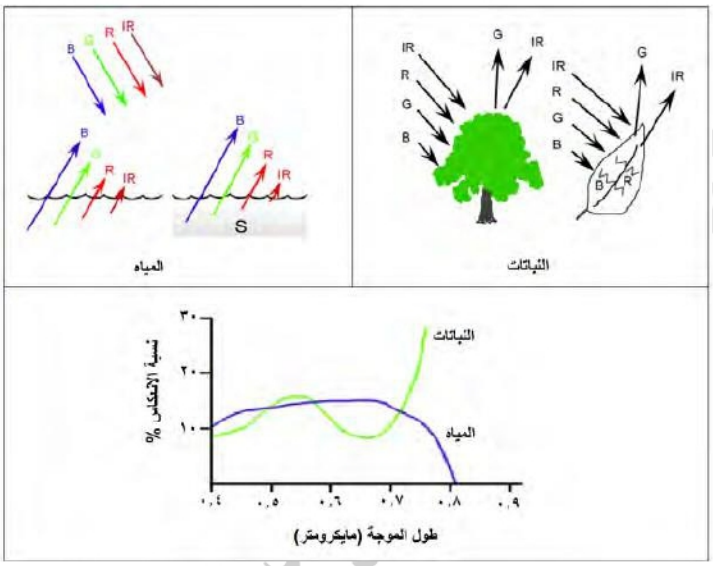
عندما يكون الهدف أملس أو ناعم smooth فيحدث الانعكاس الارتدادي أو ما يمكن تسميته الانعكاس كشبه المرآة حيث تنعكس كل أو معظم الطاقة الساقطة بعيدا عن سطح الهدف في اتجاه واحد. أما الانعكاس الانتشاري فيحدث عندما يكون سطح الهدف خشن rough حيث تنعكس الطاقة تقريبا بانتظام في جميع الاتجاهات.

وكل الأهداف الأرضية تقع فيما بين حالتي الانعكاس هاتين اعتمادا علي درجة خشونة roughness الهدف (اي حالة السطح) مقارنة بطول موجة الاشعاع الساقط عليه فاذا كان طول الموجة (λ) صغير جدا بالمقارنة بتغيرات السطح أو حجم الجزئ particle size (PZ) (اي ان $\lambda \ll PZ$) الذي يتكون منه سطح هذا الهدف فأن الانعكاس الانتشاري يكون هو الغالب, والعكس يحدث الانعكاس الارتدادي عندما يكون ($\lambda > PZ$). فعلى سبيل المثال فأن الرمال الدقيقة ستظهر ناعمة جدا بالمقارنة لموجات الميكروويف (طول موجة كبير) لكنها ستكون خشنة بالمقارنة لموجات الضوء المرئي.

لنأخذ الان مثالين تفصلين لأهداف سطح الأرض وكيف ستتفاعل مع الطاقة في نطاق الضوء المرئي و نطاق الأشعة تحت الحمراء, كالاتي:

1. **أوراق النباتات leaves:** وفيها فأن مادة الكلوروفيل ستمتص بقوة الاشعاع في أطوال الموجة للون الأزرق و الأحمر وستعكس طول موجة اللون الأخضر، وهذا ما يجعلنا نرى النباتات خضراء اللون ويزداد اخضرارها في فصل الصيف حيث تكون مادة الكلوروفيل في أقصي قيمها. بينما في فصل الخريف فيكون هناك كلوروفيل أقل مما يجعل انعكاس اللون الأخضر أقل بينما يكون هناك انعكس اكثر (او امتصاص اقل) في اللون الأحمر مما يجعل لون النباتات أحمر أو أصفر (اللون الأصفر ما هو إلا مكون من كلا اللونين الأحمر و الأخضر). أيضا فأن التركيب الداخلي لصحة النبات يعمل كعاكس انتشاري مثالي في الأشعة تحت الحمراء القريبة near infrared (NIR). فأن قياس و متابعة الاشعة تحت الحمراء القريبة المنعكسة يعد مقياسا لمدى صحة النباتات في تطبيقات التحسس النائي.
2. **المياه Water:** وفيها يتم امتصاص أطوال الموجات الكبيرة من الضوء المرئي (Red & Green) و الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) بدرجة أكبر من تلك الأشعة ذات أطوال الموجة القصيرة (Blue) . ومن ثم فأن المياه تظهر باللون الأزرق أو الأزرق-الأخضر نتيجة الانعكاس القوي لهذه الموجات القصيرة، وتظهر المياه داكنة عند رؤيتها بالأشعة تحت الحمراء. فإذا وجدت مواد عالقة في الطبقة العليا من المسطح المائي فأنها ستسبب في انعكاس أفضل و مظهر أكثر لمعانا. لكن هذه المواد العالقة قد تسبب ارتباكا مع المياه الضحلة النظيفة، حيث أن كلاهما سيظهران متشابهين بدرجة كبيرة.

ان الكلوروفيل في الطحالب يمتص الأشعة الزرقاء بدرجة أكبر ويعكس اللون الأخضر مما يجعل المياه تظهر أكثر اخضرارا عند وجود الطحالب. أيضا فأن حالة سطح المياه (كالنعومة و الخشونة والمواد العائمة) قد تسبب في تعقيدات أكثر عند تفسير مكونات هذه المسطحات وتفاعلها في ظاهرة الانعكاس الارتدادي.



شكل (1-16) أمثلة لتفاعلات الانعكاس مع الأهداف

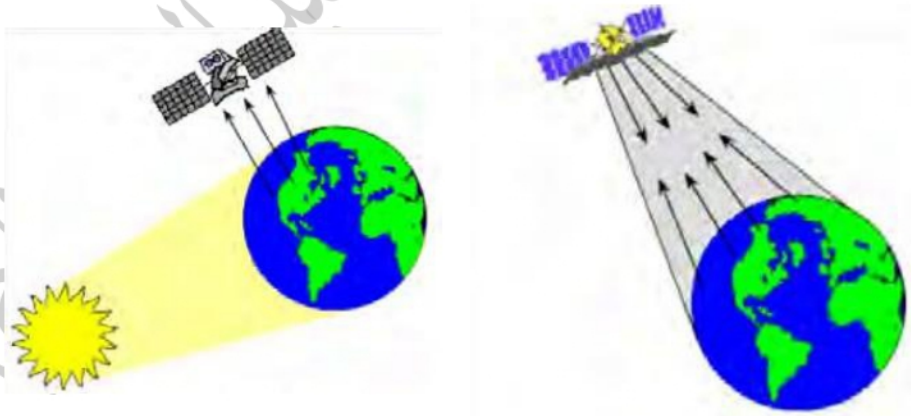
ومن هذين المثالين فيمكننا أن نلاحظ أنه و طبقا:

- لطبيعة الهدف
- و لطول موجة الاشعاع المستخدم

فيمكننا أن نرى صور مختلفة من تفاعلات الامتصاص و النفاذ و الانعكاس. ومن ثم فأننا وبقياس الطاقة المنعكسة (أو المنبعثة) من أهداف سطح الأرض في عدة أطوال موجات فنستطيع بناء أو تكوين قاعدة للتفاعل الطيفي spectral response لكل هدف. فإذا قارننا هذا التفاعل الطيفي لعدة أهداف أرضية فيمكننا أن نفرق بينهم بصورة أفضل من التفرقة بينهم في طول موجة واحد فقط. فعلي سبيل المثال فأن المياه و النباتات قد يعكسان الأشعة بصورة متشابهه في الضوء المرئي، لكنهما منفصلان تماما و مختلفان عند التعامل مع الاشعة تحت الحمراء.

6-1 التحسس النائي الموجب و السالب:

تمثل الشمس مصدرا هاما من مصادر الطاقة أو الاضاءة المستخدمة في التحسس النائي، فطاقة الشمس اما أن تنعكس عند سقوطها على سطح الأرض كما في حالة أشعة الضوء المرئي أو أن يتم امتصاصها ثم انبعاثها مرة أخرى كما في حالة الاشعة تحت الحمراء الحرارية. ومن ثم فأن أجهزة التحسس النائي التي تقيس الطاقة الطبيعية المتاحة مثل طاقة الشمس, يطلق عليه اسم متحسسات سالبة أو سلبية passive sensors. أي أن هذه المتحسسات السالبة تقيس الطاقة فقط عندما يكون هذا المصدر الطبيعي متاحا، وبالنسبة للطاقة المنعكسة فأن هذا يحدث فقط في النهار فلا توجد طاقة منعكسة في الليل. أما الطاقة المنبعثة فمن الممكن قياسها و تحسسها نهارا أو ليلا طالما كانت كميتها كافية بحيث تسمح بالتحسس. على الجانب الاخر فأن أجهزة التحسس النائي (أو المتحسسات) الموجبة أو الايجابية active sensors تستخدم طاقتها الخاصة للإضاءة أو التحسس، فهي تبث الاشعاع الموجه الى الأهداف الأرضية ثم تستقبله و تسجله بعد انعكاسه. ومن مميزات المتحسسات الموجبة أنها تعمل في أي وقت من اليوم أو فصول السنة، كما أنها تستخدم لفحص او كشف أطوال الموجات القصيرة أو المايكروويف. لكن هذه المتحسسات الموجبة تتطلب توليد كمية كبيرة من الطاقة تكفي لإضاءة الأهداف، ومن أمثلتها متحسسات الليزر و متحسسات الرادار المعروفة باسم Synthetic Aperture Radar (SAR).



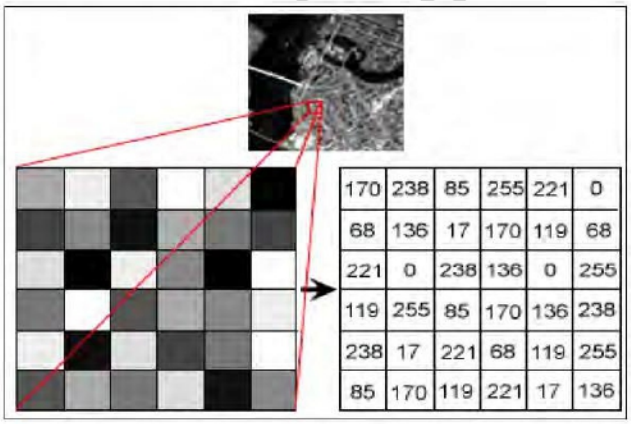
(b) (a)

شكل (1-17) التحسس النائي (a) الموجب و(b) السالب

7-1 خصائص المرئيات:

ان الطاقة الكهرومغناطيسية يمكن تحسسها وتسجيلها سواء فوتوغرافيا او الكترونيا. تستخدم عملية التصوير الفوتوغرافي التفاعلات الكيمائية على سطح الفيلم الحساس لتسجيل تغيرات الطاقة ضمن نطاق أطوال الموجات من 0.3 الي 0.9 مايكرومتر، أي نطاق الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء. أما المتحسسات التي تتحسس و تسجل الطاقة بصورة الكترونية فأنها تسجيل الطاقة في مصفوفة رقمية (مرئية رقمية), يتم تمثيلها و عرضها بصورة رقمية digital format من خلال تقسيم المرئية الرقمية الى اقسام صغيرة متساوية المساحة و الشكل و هي ما يطلق عليها اسم الخلايا او البكسل pixels.

و هذه الخلايا تمثل درجة اللمعان brightness (و هي مقياس لمدى انعكاس الضوء عن سطح ما،) او شدة الاشعاع المنعكس لكل مساحة بواسطة قيمة رقمية digital number (كما في الشكل 1-18). يمكن تحويل الصورة الفوتوغرافية الأصلية الي مرئية رقمية، و هو ما يحدث عندما نقوم بعملية المسح الضوئي scanning للصورة الفوتوغرافية.



شكل (1-18) تحويل الصورة الفوتوغرافية الي نسخة رقمية

يتم تجميع و تسجيل الطاقة في جزء صغير أو ضيق من مجال الاشعة الكهرومغناطيسية فيما يسمي القناة channel أو النطاق band. ويمكن تجميع و عرض معلومات عدة قنوات أو عدة نطاقات باستخدام الألوان الاساسية الثلاثة (الأزرق و الأخضر و الأحمر) حيث يتم تمثيل معلومات كل نطاق أو كل قناة كواحد من هذه الألوان، وطبقا لدرجة اللمعان (أي القيمة الرقمية) لكل خلية أو بكسل في كل قناة فأن الألوان الثلاثة سيتم دمجهم بصور مختلفة لتمثيل الألوان المختلفة. وعندما نستخدم هذه الطريقة لعرض معلومات قناة واحدة أو نطاق من أطوال الموجات فأننا نقوم بعرض محتويات هذه القناة من خلال الألوان الرئيسية الثلاثة.

وبسبب أن درجة اللمعان في كل خلية تكون متساوية للألوان الثلاثة فأنها تتجمع في مرئية أبيض و أسود black and white image (او رمادية), أما عندما يتم عرض أكثر من قناة أو نطاق و لكلا منهم لون أساسي مختلف فأن درجة اللمعان ستختلف من قناة الى أخرى في طريقة دمج الألوان ومن ثم فأنهم سينتجون مرئية ملونة color image.

شكل (1-18) المرئيات الملونة و غير الملونة

التحسس النائي أ. د. تغريد عبد الحميد ناجي