طرق تفسير بيانات وصور الأقمار الصناعية:

التحليل البصري

تتعدد طرق تفسير بيانات وصور الأقمار الصناعية ، غير أنها تنقسم إلى قسمين أساسيين هما :

- التحليل البصرى ،

-التحليل بواسطة الحاسوب .

التحليل البصري :

يتضمن التحليل البصري استخراج المعلومات الواردة في صور الأقمار الصناعية من خلال تحديد مختلف العناصر وتصنيفها في علاقة مع شكلها وحجمها ونسيجها والوضعية التي تحتلها، وذلك اعتمادا على مجموعة من المعايير البصرية.و تتطلب عملية التأويل المرور بأربع مراحل رئيسة:

- القراءة
- التحديد
- التحليل
- التأويل

1- القراءة

إن قراءة بيانات الاستشعار عن بعد ليست عملية مباشرة كما هو الحال بالنسبة للخريطة التي تتضمن رموزا متعارف عليها خاصة، بالمعطيات الطبيعية والبشرية، إذ يتم الكشف عن مختلف مكونات الصورة اعتمادا على مجموعة من المعايير البصرية كالشكل والحجم و النسيج وتدرج مستويات الرمادي .

خلال هذه المرحلة يتم التعرف بسهولة على مجموعة من العناصر الواضحة فوق الصورة الجوية (الطرق، المشارات الزراعية، الأشجار، المجاري المائية، الغطاء نباتي، السكن ...) .ويهتم فيها الدارس بالتعرف على الأهداف وتحديد مواقعها بالنسبة إلى بعضها، و معرفة ما إذا كانت المعالم طبيعية أو بشرية.خلال هذه المرحلة يمكن للمستعمل أن يحصل له بعض الخلط بين العناصر الواردة في الصورة كالخلط بين سكة حديدية وطريق أو مسلك قروي ومجرى مائي موسمي في حالة اعتماد بيانات ذات التدرج الرمادي فقط، و يمكن تجاوز ذلك في صور الأقمار الصناعية متعددة الأطياف باعتماد النطاقات المناسبة للتمييز بين العناصر المكونة للصورة.

2. التحديد

بعد التعرف على مختلف العناصر والأجسام الواردة في الصورة يتم تحديد وحدات متجانسة اعتمادا على المعايير البصرية السالفة الذكر.ويمكن التمييز في هذه المرحلة بين مختلف مكونات المشهد فوق الصورة حسب خصوصيات مختلف العناصر (الأودية الرئيسية والثانوية و القنوات و البنايات السكنية والبنايات الصناعية...) ولإغناء هذه الخطوات الأولى من تأويل صور الأقمار الصناعية و الصور الجوية يجب على المؤول أن يكون متوفرا على خبرة ميدانية ومعرفة علمية مسبقة للمجال المدروس بهدف تدعيم التحليل والتأويل.

3. التحليل

قبل بدء مرحلة التحليل يجب تحديد العناصر أو المظاهر المراد تحليلها حسب موضوع الاهتمام (شبكة مائية، تضاريس، جيولوجيا، غطاء نباتي، استعمالات الأراضي، مباني...) وتختلف منهجية التحليل حسب التخصصات وموضوع الدراسة ومجالات التطبيق. تتطلب هذه المرحلة تعمقا أكثر وإنجاز مجموعة من القياسات فوق بيانات الاستشعار عن بعد من أجل تصنيف الظواهر حسب حجمها وامتدادها المجالي. ويتم إبراز مختلف العلاقات الممكنة بين مكونات المشهد على الصورة بشكل دقيق يتجاوز مرحلة القراءة والتحديد.

يعرف التحليل عامة بأنه فحص أي شيء لتمييز مكوناته، إما منفصلة أو منسوبة إليه. فإذا كان المجال المراد دراسته يمثل مشهدا فلاحيا، فإن التحليل يقوم بحصر المجال الفلاحي والمباني كل على حدة، ثم تقسيم المجال الفلاحي إلى نطاق الزراعات السنوية ونطاق الغراسات، والطرق والمسالك القروية وأماكن تجميع الحصاد وأماكن تجميع الآلات الزراعية. ثم يحلل كل نوع من هذه العناصر. فالأشجار يمكن أن تقسم إلى أشجار مثمرة وأشجار غير مثمرة، والمجالات الزراعية إلى مجالات سقوية ومجالات بورية. وما يجري من تحليل للمناطق الزراعية يتم أيضا بصورة مماثلة للمناطق المبنية، حيث تحلل إلى مباني سكنية وأخرى تجارية أو صناعية أو خدماتية ثم يفصل كل نوع منها إلى جزئياته.

4. التأويل

خلال هذه المرحلة التركيبية يفحص المؤول الصورة اعتمادا على نتائج المراحل السابقة، مدعما الملاحظات المنجزة على الصورة بالمعلومات المستخلصة من مصادر أخرى (خرائط و تقارير...). وتتطلب هذه المرحلة أن يكون المؤول متوفرا على معرفة واسعة بالظاهرة المدروسة وبمجال الدراسة، وذلك بهدف استنباط المعلومات التي لا تظهر مباشرة على الصورة، كما يمكنه الاعتماد على الفهارس les indices المعروفة مثل ndvi أو

يعتبر التأويل المرحلة النهائية في دراسة وثائق الاستشعار عن بعد، التي تقوم

على الاستنتاج بما يتماشى مع طبيعة المنطقة واعتمادا على معلومات المؤول. وهكذا فإن تأويل بيانات الاستشعار عن بعد هو العلم الذي يبحث في الحصول على خصائص الأهداف لاستنتاج معلومات غير مرئية منها ويمكن أن يكون له العديد من التطبيقات و الفوائد والأغراض التي يستخدم فيها.

المعايير البصرية لقراءة وتأويل صور الأقمار الصناعية

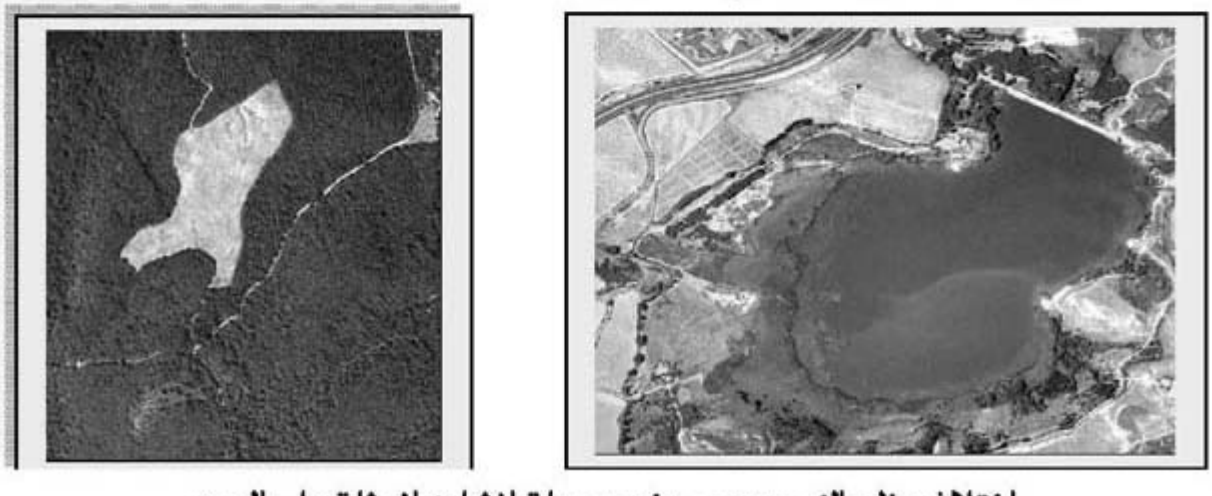
صور الاستشعار عن بعد هي عبارة عن وثائق خام تظهر مختلف العناصر بالمظهر الذي كانت عليه أثناء التقاط الصورة، وترتبط نوعية المعلومات التي تقدمها بالمقياس ودرجة وضوح الصورة.

ولقراءة وتاويل هذه الصور والبحث عن المعلومات الواردة فيها يعتمد القارئ على مجموعة من المعايير البصرية كالنسيج وتدرج مستويات الرمادي والشكل وحجم العناصر والظلال.

1. النسيج (Texture)

يعتبر النسيج من المعايير الرئيسية التي تؤخذ بعين الاعتبار أثناء قراءة وتحليل الصور. والنسيج هو عبارة عن تكرار لعناصر صغيرة لا يمكن تمييزها مستقلة فوق الصورة نظرا لصغر حجمها لكن عندما تتكرر تشكل نسيجا يسهل التعرف عليه . إن تجمع مجموعة من العناصر يخلق الإحساس بنسيج معين يرتبط ارتباطا وثيقا بمقياس ودرجة وضوح الصورة. وعلى أي حال فإن مقياس الصورة يقوم بدور كبير في الإفادة بنسيج الصورة الجوية، ففي المقاييس الكبيرة يظهر نسيج ومظهر الأهداف واضحا بخلاف المقاييس الصغيرة التي يصعب معها تمييز نسيج الصور.

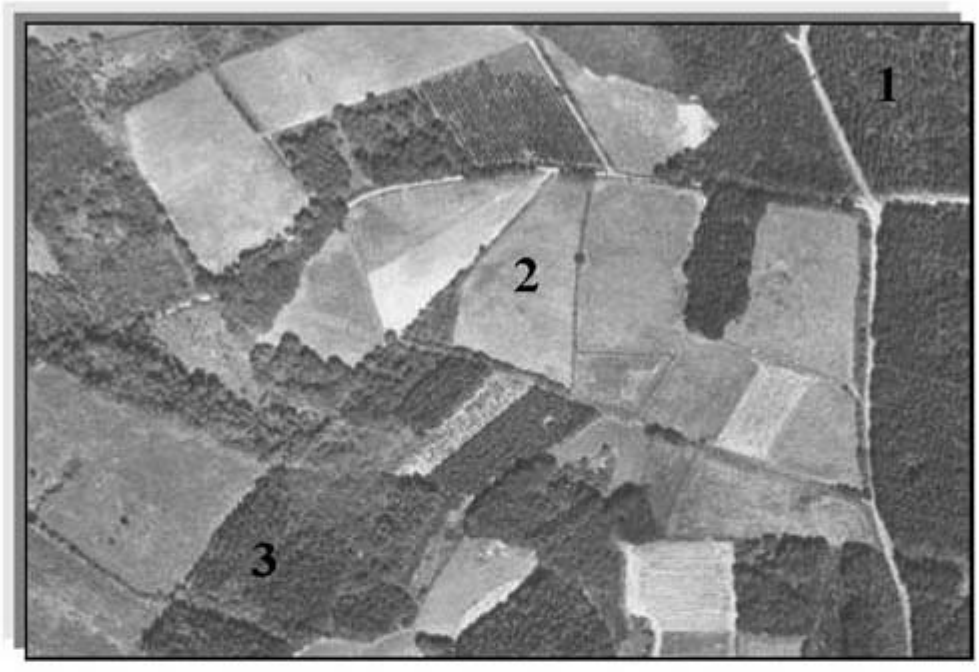
ففوق الصور ذات المقياس الكبير تظهر الأشجار مثلا كعناصر مستقلة، والإحساس بالنسيج في هذه الحالة يتم على مستوى الأوراق، في حين فوق الصور ذات المقياس الصغير يختلف النسيج حسب طريقة تجمع الأشجار.



اختلاف مظهر النسيج حسب خصوصيات المشاهد الممثلة على الصور

(1 : نسيج المسطحات المائية 2 : نسج المجالات الغابوية 3: نسيج الأراضي المحروثة)

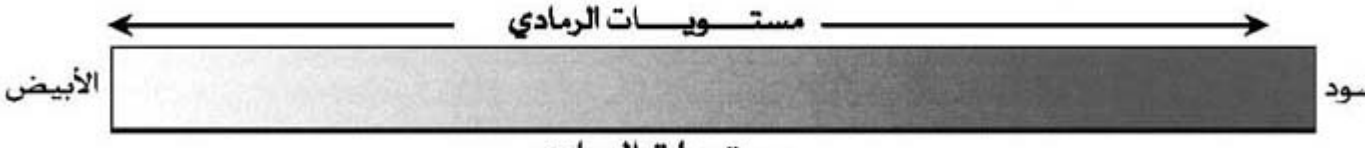
من خلال مظهر النسيج (خام أو أملس) يمكن تحديد بعض مكونات المشهد على الصورة. في الشكل التالي يمكن التميز اعتمادا على النسيج بين المجالات الغابوية التي تظهر بنسيج خام (1) وبين المجالات المزروعة والتي تظهر بنسيج أملس (2) ومجال الغراسات الذي تنتظم فيه العناصر بشكل هندسي (3).



اختلاف النسيج حسب استعمالات الأراضي

2- نسق تدرج الألوان (Ton)

يستعمل خلال قراءة الصور بالأسود والأبيض معيار درجة إشراق الألوان لتحديد مختلف مستويات الرمادي فوق الصورة، والتي تتدرج بين 0 بالنسبة للون الأبيض و 100 بالنسبة للون الأسود .



مستويات الرمادي

يرتبط تدرج مستويات الرمادي فوق الصور بالأسود والأبيض باختلاف قدرة مختلف العناصر الملتقطة في الصورة على امتصاص وعكس مختلف أطوال الأشعة، وتختلف هذه القدرة حسب نوعية السطح ولونه ودرجة رطوبته.

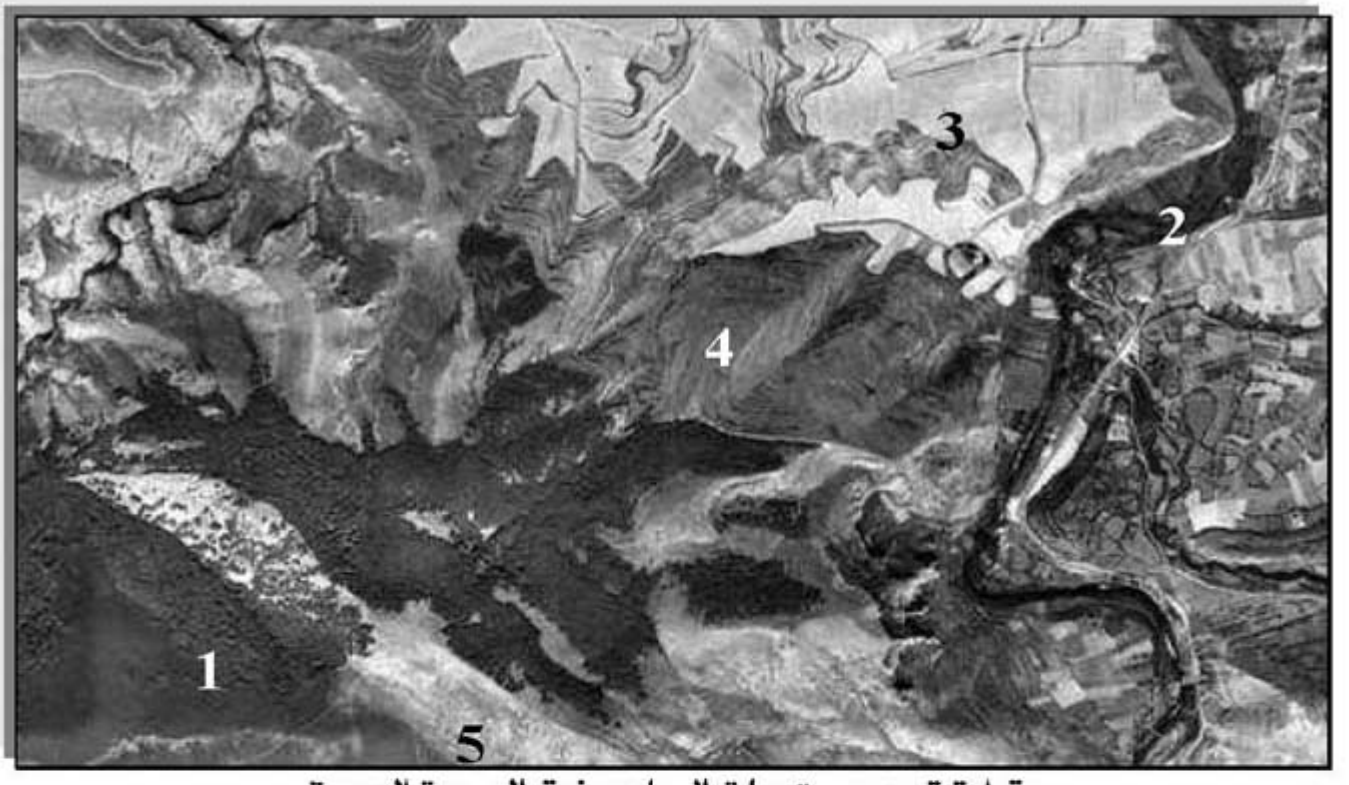
تؤثر الإضاءة وحالة الجو أثناء التقاط الصورة الجوية في كمية الأشعة المنعكسة من الهدف ، مما ينتج عنه وضوح الجسم أو عدم وضوحه، ومعلوم أن الإضاءة القوية تظهر الأهداف واضحة بعكس الإضاءة الضعيفة.

إذا كانت القاعدة العامة تشير إلا أنه كلما كان الضوء المنبعث من الأجسام كبير إلا وظهرت بلون فاتح فوق الصورة والعكس صحيح، فان كمية الإشعاعات المنعكسة من مختلف الأجسام تختلف حسب طبيعة السطح ونسيجه ولونه ونسبة الرطوبة الموجودة به أثناء التقاط الصورة. وعلى هذا الأساس يجب الأخذ بعين الاعتبار كل هذه المؤشرات عند استعمال معيار تدرج الألوان خلال قراءة وتأويل صور الأقمار الصناعية لتفادي الوقوع في الخطأ والتعميم لأن تدرج الألوان تتحكم فيه مجموعة من العوامل الأخرى ومن بينها:

- التباينات في المجال والزمان لدرجة امتصاص الأشعة وانعكاسها حسب مختلف الأجسام.
- أثر الاضطرابات الجوية (غيوم،ضباب،غبار...) في نسبة الإشعاعات المرسلة والمنعكسة.
- تأثير زاوية سقوط الأشعة الشمسية خلال التقاط الصورة، وكمية الضوء .

اعتمادا على تدرج مستويات الرمادي يمكن التمييز على مستوى استعمالات الأراضي الشكل الموالي بين مجموعة من النطاقات:

- نطاقات تظهر على الصورة بلون داكن نظرا لضعف الإشعاعات المنعكسة، كما هو الحال في المجالات الغابوية (1) و المجالات المسقية على طول الأودية (2)، نظرا لارتفاع نسبة الرطوبة داخل التربة .
- نطاقات فاتحة اللون نظرا لإرتفاع نسبة الإشعاعات المنعكسة، وتوافق مجالات الزراعات البورية (3)
- نطاقات رمادية داكنة وتوافق نطاق الغراسات (4)
- نطاقات تتدرج ألوانها بين الرمادي الفاتح والأبيض وتوافق الأراضي غير الصالحة للزراعة (5).



: قراءة تدرج مستويات الرمادي فوق الصورة الجوية

1: مجال غابوي 2: زراعات مسقية 3: زراعات بورية 4: غراسات 5: أراضي غير صالحة للزراعة

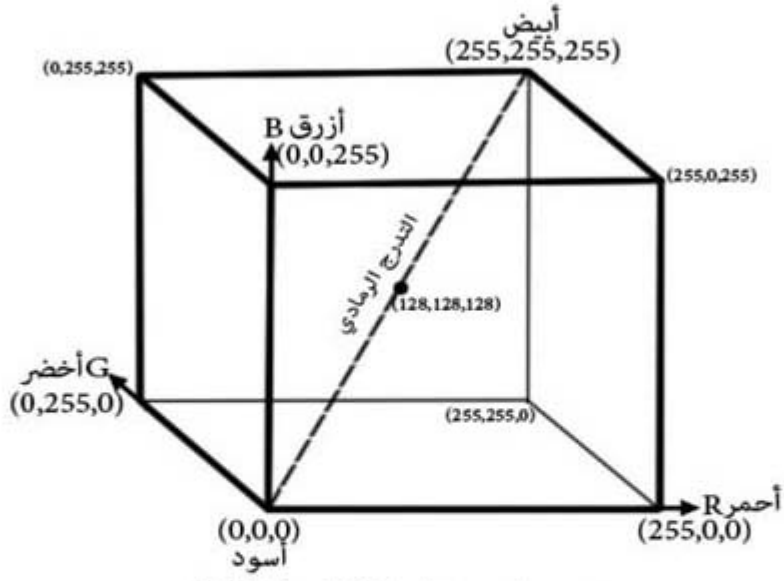
(مقتطع من صورة جوية لشمال حوض واد سرا بالريف الأوسط)

نسق الألوان

في مجال الاستشعار عن بعد تستطيع المستشعرات أن تتحسس أجزاء من الطيف لا يمكن للعين المجردة أن تدركها مثل الأشعة فوق الحمراء. و حتى نستطيع أن ندرك ما تمثله هذه الحزم الطيفية لابد من إسقاطها على ألوان العرض الرئيسية RGB حتى تتكون لنا بذلك صورة ملونة . و باستخدام التركيب اللوني الزائف تبرز بعض الظواهر بألوان أكثر وضوح ، و بذلك يمكننا التركيز على ظواهر أرضية معينة أثناء عملية التفسير. و في هذا الباب فإننا نقوم بتحويل التدرج الرمادي إلى التمثيل اللوني سواء كانت الألوان طبيعية أو زائفة. و هناك عدد من نماذج الألوان المستخدمة يكون كل نموذج منها إما موجه إلى نظام آلي معين مثل نموذج الألوان RGB أو إلى تطبيق في معالجة الصور الرقمية مثل نموذج ISH (شدة الإضاءة، التشبع، اللون)

فبالنسبة لنموذج الألوان RGB فإنه يتكون من الألوان الثلاثة الأساسية الأحمر و الأخضر و لأزرق، إذ أن كل الألوان الأخرى تنتج بمزج هذه الألوان الثالثة مع بعضها

البعض بنسب متفاوتة، إذ أنه في حالة تساوي القيم الثالثة فسنصبح على مستوى ألوان الأبيض و الأسود المتمثل في التدرج الرمادي. و يمكن تمثيل هذا النمزذج اللوني بشكل مكعب (شكل) يمثل اللون الأسود نقطة الأصل لنظام إحداثياته (0,0,0) و اللون الأبيض يتكون من مجموع قيم الألوان الرئيسية (255,255,255)، و لكن هذا النموذج ليس الأمثل في كل التطبيقات ، و لهذا يتم في بعض حالات تقنيات معالجة الصور الرقمية اعتماد نموذج ISH الذي يعتمد على الظواهر التي غالبا ما نرغب عند تحليل البيانات التركيز عليها و هي (تدرج اللون و التشبع و شدة الإشعاع) و تتوفر برامج معالجة الصور الفضائية على معادلة خاصة بتحويل الصور من نظام الألوان RGB إلى نظام ISH



شكل : نظام الألوان RGB

من بين أهم خصائص صور الأقمار الاصطناعية أنها تمكننا من مشاهدة المجال بتركيبات لونية مختلفة حسب النطاقات المستعملة ، و مع تغيير أي نطاق تتغير ألوان الأجسام على الصورة؛ و ذلك يرجع لاختلاف درجة الإشعاع و الانعكاس بكل نطاق حسب القوانين الفزيائية للمادة.

هناك ضوابط تحكم اختيار القنوات المناسبة للتركيب اللوني في كل دراسة و ذلك حسب استخدامات كل قناة من طيف معين.

الجدول التالي يبين لنا استخدامات قنوات من الطيف المرئي و الأشعة تحت الحمراء، و كذلك رقم القناة الذي يناسب ذلك الطيف في صور أقمار Landsat Tm & ETM و SPOT .

النطاق	طول الموجة (µm) بالتقريب		استخداماته	Landsat TM& ETM	SPOT 4&5
الأزرق	0,45	0,52	وضع خرائط لمناطق المياه الساحلية و دراسة توحل السدود، و التمييز بين التربة و الغطاء النباتي بالإضافة إلى الدراسات الحضرية	1	--
الأخضر	0,50	0,60	و يطابق هذا النطاق الانعكاس الأخضر للغطاء النباتي السليم، و يفيد أيضا في وضع خرائط المسطحات المائية و دراسة توحل السدود	2	1
الأحمر	0,60	0,70	نطاق الامتصاص الكلوروفيلي للغطاء النباتي و يعتبر أحد أهم النطاقات لتمييز الغطاء النباتي و هو مفيد أيضا لتحديد حدود أنواع التربة و رسم الحدود الجيولوجية، كما يستخدم في الدراسات الحضرية	3	2
تحت الأحمر القريب	0,76	0,90	يساعد على التمييز بين أنواع الغطاء النباتي نظرا لحساسيته للكلوروفيل و هو مفيد في تمييز المحاصيل و تعزيز التباين بين التربة و المحاصيل كما يستخدم للتمييز بين الماء و غير الماء.	4	3
تحت الأحمر المتوسط	1,55	1,74	حساس لرطوبة النباتات إذ يمكن دراسة جفاف المحاصيل و تحليل سلامة النباتات، و يعتبر أحد النطاقات القليلة التي تميز بين الغيوم و الثلج و الجليد.	5	4
تحت الأحمر المتوسط	2,08	2,35	يستخدم في التمييز بين أنواع الصخور و حدود التربة بالإضافة إلى تحديد رطوبة الغطاء النباتي و التربة، كما يفيد في كشف الحرائق.	7	-
تحت الأحمر الحراري	10,4	12,5	كشف الإجهاد على الغطاء النباتي و المحاصيل و تطبيقات كثافة الحرارة و مكافحة الحشرات و تعيين مواقع التلوث الحراري، كما يفيد في تحديد مواقع النشاطات الحرارية الأرضية	6	-

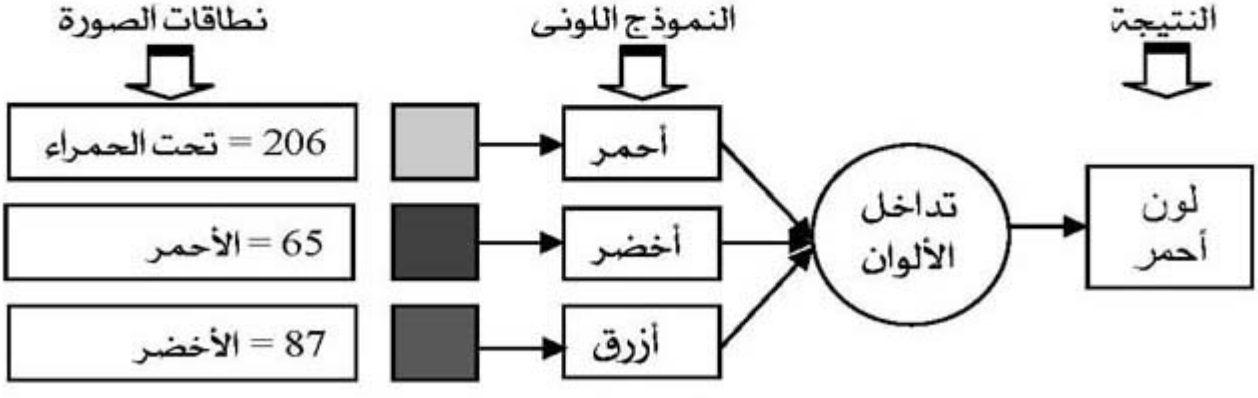
استخدامات النطاقات الطيفية في مجال الاستشعار عن بعد

في حالة المعالجة و التحليل من خلال التركيب اللوني و اعتمادا على التأويل البصري فإنه غالبا ما نستخدم التركيب اللوني التالي حسب مجال الدراسة وفق الجدول التالي :

مجال الدراسة	نظام الألوان RGB		
	الأحمر R	الأخضر G	الأزرق B
الغطاء النباتي	TM-4	TM-3	TM-2
حرائق الغابات	TM-7	TM-4	TM-2
المسطحات المائية	TM-5	TM-2	TM-1
التربة و المعادن	TM-7	TM-3	TM-2
الدراسات الحضرية	TM-6	TM-4	TM-7
الدراسات الحضرية	TM-3	TM-2	TM-1
الدراسات المائية	TM-3	TM-2	TM-1

و تبعا لما أشرنا إليه من التركيب اللوني في الجدول السابق في حالة دراسة الغطاء النباتي فإن أنسب تركيبة لونية ستركز على نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة TM-4 و الأحمر TM-3 لكونهما يتعارضان من حيث حساسيتهما للكلوروفيل. و كما هو معلوم فإن النباتات الخضراء تمتص الأشعة الحمراء من الطيف المرئي إلا في حالة وجود أوراق ميتة فإن العكس صحيح ، و بالمقابل ترسل النباتات الغنية بالكلوروفيل و ذات أوراق عريضة نسبة كبيرة من الإشعاع في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة.

نقوم بإسقاط نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة على النموذج اللوني الأحمر من نظام الألوان لنحصل على درجات من اللون الأحمر تختلف باختلاف نوع الغطاء النباتي و درجة سلامته من الأمراض، و تتم عملية التركيب اللوني حسب القنوات في هذا المثال كما في الشكل ، علما أننا استخدمنا القنوات (تحت الحمراء القريبة، الأحمر، الأخضر)



مبدأ التركيب اللوني

أما إذا أسقطنا نطاق الأشعة تحت الحمراء في هذا المثال على النموذج اللوني الأخضر فإننا سنحصل على لون أخضر في النهاية لأن القيمة 206 كبيرة جدا مقارنة مع

القيم الأخرى. و لكن غالبا نسقط النطاق الذي سنعتمده في الدراسة على النموذج اللوني الأحمر لكون هذا اللون نستشعره بسرعة و يثير انتباهنا.

وفي حالة اعتمادا التركيب اللوني لثلاث نطاقات يمكن التمييز على مستوى استعمالات الأراضي بين مجموعة من النطاقات:

الهدف	اللون بصورة القمر الصناعي لاندسات حسب التركيبة اللونية	
	R:4_G:3_B:2	R:7_G:4_B:3
نبات أخضر	أحمر	أخضر
ماء عميق و نقي	أسود	أزرق غامق ، أسود
ماء نقي ضحل	أزرق فاتح	أزرق فاتح
ماء به رواسب صلبة	أخضر فاتح	أزرق فاتح
ثلج أو سحب	أبيض	أبيض
مدن	أزرق	بنفسجي ، رمادي
رمال	أبيض	أبيض
طرق ترابية	أبيض	بني
ظلال	أسود	أسود
أهداف حمراء اللون	أصفر	بنفسجي
أهداف سوداء	أسود	حمراء

الألوان بصورة القمر الصناعي لاندسات حسب مختلف القنوات

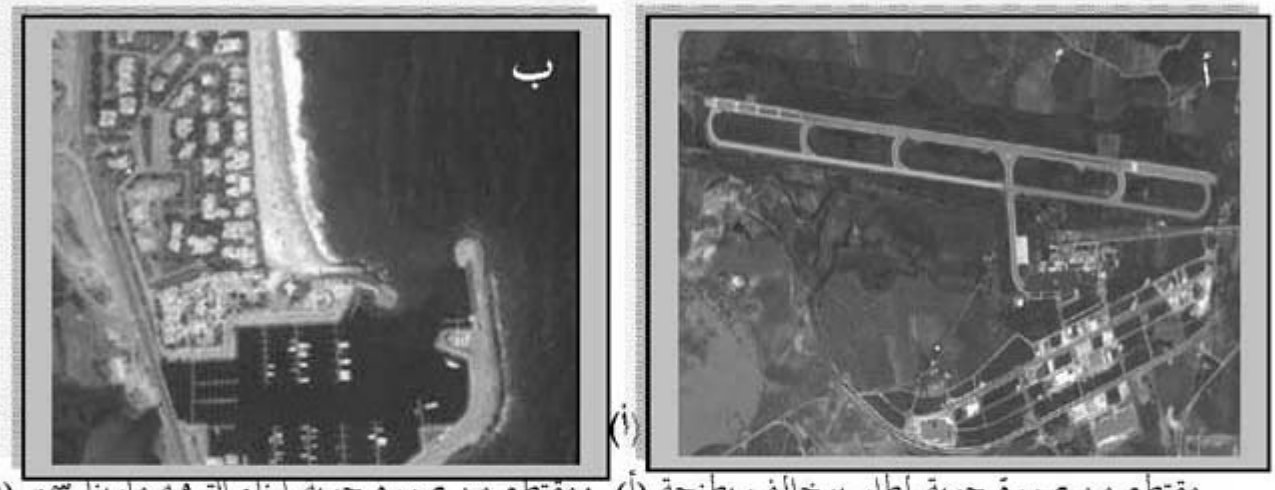
3- الشكل (Forme)

إن أشكال الأهداف التي تظهر في صور الأقمار الصناعية تختلف اختلافا كبيرا عن أشكالها التي تعود الإنسان أن يراها في الطبيعة؛ فالمباني مثلا يراها الإنسان أمامه كمنشآ مرتفع عنه وله واجهات تحتوي على أبواب ونوافذ وشرفات، أما في صور الأقمار الصناعية فهو يراها ممثلة في مساحة سقفها من الأعلى حسب ميل أشعة التصوير. كذلك بالنسبة للأشجار فلقد تعود الإنسان أن يراها ساقا وفي أعلاها فروعا وتحمل أوراقا ، أما في الصور الفضائية فهي تظهر أشبه بدائرة غير منتظمة ذات شكل مختلف عما هو عليه في حس الإنسان.

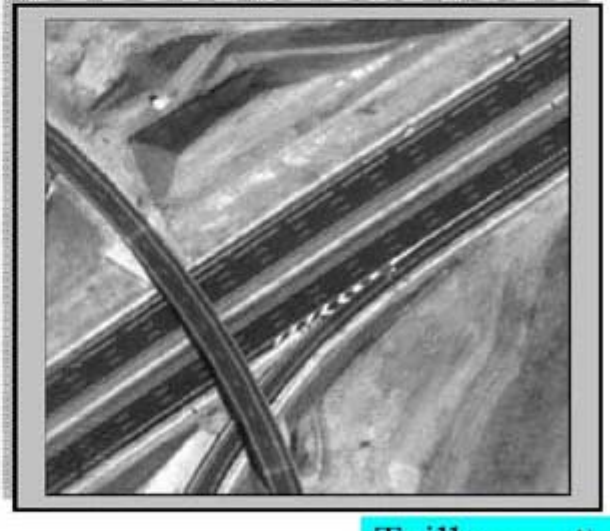
وعموما تتميز أشكال الحدود الخارجية للأهداف الطبيعية (شواطئ البحار وضفاف الأنهار والمناطق الجبلية ومجالات الغطاء النباتي الطبيعي) بأنها غير مستقيمة إلا في حالات قليلة، وإذا كانت مستقيمة فقد يوجد بها بروزات ونتوءات بين الحين والآخر.

أما أشكال الحدود الخارجية للأهداف الصناعية التي شكلتها يد الإنسان فتتميز بأنها خطوط محدودة مكونة من مستقيمات متصلة (الطرق و قنوات الري و المدرجات الزراعية وحدود المشارات الفلاحية و التشجير والبنايات ..)

إن شكل بعض الأجسام أو العناصر الواردة في الصور يساعد على التعرف عليها وتحديدها.وبصفة عامة فالمظاهر الطبيعية تأخذ أشكالا غير منتظمة في حين تأخذ المظاهر البشرية أشكالا هندسية كالخطوط المستقيمة أو المنحنيات الخفيفة. فاعتمادا على الشكل يمكن التمييز بين مدرج مطار ومرفأ ميناء وبين طريق وطنية وطريق سيار.



مقتطع من صورة جوية لمطار بوخالف بطنجة (أ) ومقتطع من صوره جويه لميناء الترفيه مارينا سمير (ب)



: التمييز بين الطريق السيار والطريق الرئيسية اعتمادا على الشكل

4- الحجم (Taille)

تساعد أحجام وأبعاد بعض عناصر المشهد الذي تغطيه الصورة في التعرف على مجموعة من مكوناته. فمن خلال تحديد عنصر معروف الأبعاد على الصورة يسهل بعد ذلك التعرف بالمقارنة على عناصر أخرى. وبالاعتماد على المقياس يمكن تحديد قيمة

أبعاد مختلف الأجسام بطريقة مضبوطة.وتعتبر المساحة التي تشغلها مختلف مكونات المشهد فوق الصورة مؤشرا على حجمها .

يمكن تحديد حجم مجموعة من مكونات الصورة انطلاقا من بعض العناصر التي تعرف أبعادها التقريبية، كما هو الحال بالنسبة للسيارات والحافلات أو وجود عناصر لها قياسات مضبوطة ومتعارف عليها دوليا كما هو الحال في الملعب الأولمبي. وعادة ما يستدل على الحجم بالطول والعرض أو المساحة.

تحديد الأبعاد اعتمادا على حجم السيارات

تحديد الأبعاد اعتماد على مساحة ملعب كرة القدم

الظلال :

الظلال هي ظواهر طبيعية مرتبطة بحركية الشمس، استعملت منذ القديم لتحديد التوقيت وللتميز بين قد الأجسام وشكلها من خلال ملاحظة الظلال التي تعكسها . إن استغلال الظلال الواردة في الصور تقدم معلومات مهمة لتحديد مجموعة من العناصر وإنجاز بعض القياسات وتوجيه الصور.

ظلال مجموعة من الأشجار في الصوة الأولى وظلال مجموعة من العمارات في الصورة الثانية

إلا أن ما يعيب طريقة التأويل البصري لصور الأقمار الصناعية هو اختلاف نتيجة تفسير الصورة الواحدة من شخص لآخر ، كما أنها تعتمد على كفاءة الباحث ومعرفته ببعض الظروف المحلية للمنطقة التى تغطيها الصورة ، وبالطبع لا ينفى كل ذلك أهمية التفسير البصرى للصور الفضائية ، كما يعتبره البعض وسيلة تمهيدية قبل الشروع فى التفسير الآلى بواسطة الحاسوب .