الفصل الثاني

الصور الرقمية
Digital Images

(٢,١) مقدمة

إن تقنية الاستشعار عن بعد تتضمن مرحلتين أساسيتين هما مرحلة جمع البيانات وهي عملية تكوين الصور الرقمية (digital images) ومرحلة تحليل البيانات وتشمل المعالجة والتصنيف. وسنفرد هذا الفصل للمرحلة الأولى حتى نتعرف على تكوين الصور الرقمية التي نحن بصدد معالجتها.

(٢,٢) مرحلة جمع البيانات Data Acquisition

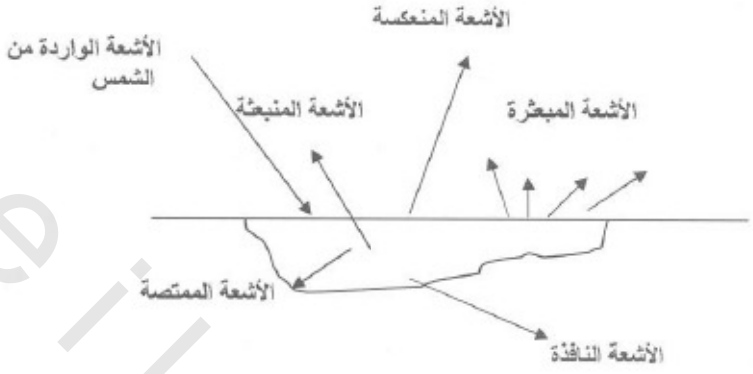
تقتضي مرحلة جمع البيانات وجود مصدر للطاقة، وكما ذكرنا من قبل فإن مصدر الطاقة الأساس المستخدم في هذه التقنية هو الشمس التي ترسل الطاقة الكهرومغناطيسية في اتجاه الأرض في شكل أشعة. ثم تنتشر هذه الأشعة عبر الغلاف الجوي حتى تصل إلى الأرض، وتسمى حينئذ الأشعة الواردة (incident radiation). ثم تتفاعل هذه الأشعة مع الهدف على الأرض فمنها ما يمتصه الهدف فيتحول إلى طاقة أخرى وهي في الغالب تكون طاقة حرارية وتسمى الأشعة الممتصة (absorbed radiation)، وينتج منها طاقة تنبعث من الجسم تسمى الأشعة المنبعثة

obeikandi.com

(emitted radiation) ومنها ما يخترق الهدف ويسمى الأشعة النافذة (transmitted radiation)، ومنها ما ينعكس من الهدف بزاوية انعكاس مساوية لزاوية السقوط وتسمى الأشعة المنعكسة (reflected radiation) وهي التي تصل إلى جهاز الاستشعار بعد مرورها بالغلاف الجوي فيحولها الجهاز إلى أعداد رقمية (Digital Numbers, DN) تكوُن الصورة الرقمية، وإذا كان انعكاس الأشعة متشتتاً تسمى الأشعة المبعثرة (scattered radiation) ويوضح الشكل رقم (٢,١) التفاعلات المختلفة التي تحصل للطاقة الشمسية حتى تصل إلى جهاز الاستشعار [5]-[8].

وتشير الحقائق الفيزيائية إلى أن كلا من الأشعة الممتصة والمنقولة والمنعكسة تتغير شدتها حسب طول الموجة وحسب خصائص الهدف الذي تسقط عليه الطاقة الواردة.

إن هذه الأشعة المنعكسة من الهدف تمر من خلال طبقات الغلاف الجوي حتى تصل إلى جهاز الاستشعار (sensor) المحمول جوا على الطائرة أو في الفضاء على القمر الاصطناعي. ثم يقوم جهاز الاستشعار بدوره بتقوية الأشعة (amplification) المنعكسة والتي غالبا ما تصل إليه في حالة ضعيفة خاصة مع بعد المسافة بين الهدف والجهاز. ثم يقوم بتحسس هذه الأشعة بعد تقويتها ويحولها إلى تيار كهربائي تتناسب شدته مع شدة الأشعة الواصلة وأخيراً يسجل هذا التيار الكهربائي تسجيلا عدديا. وعليه فإن الأشعة المنعكسة من الهدف تكون قد تحولت بواسطة جهاز الاستشعار إلى مجموعة من الأعداد الرقمية (Digital Numbers, DN) تتناسب قيمها مع شدة الأشعة. وبما أن الأشعة المنعكسة تختلف شدتها حسب الهدف الذي انعكست منه كما ذكرنا آنفا فإن الأرقام التي يتم تسجيلها بواسطة الجهاز تعبر عن شدة الأشعة المنعكسة ومن ثم عن الهدف الذي انعكست منه.



الشكل رقم (٢,١). تفاعلات الطاقة الشمسية قبل وصولها إلى جهاز الاستشعار.

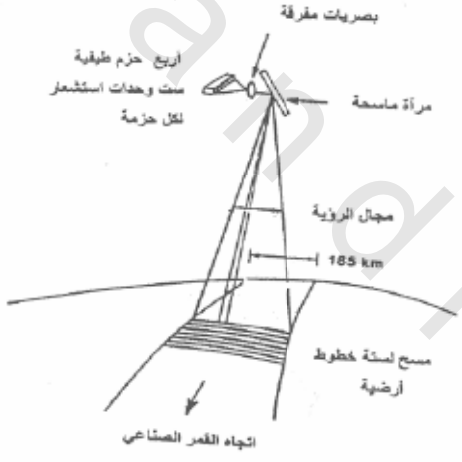
(٢,٣) أجهزة الاستشعار

هنالك نوعان أساسيان من الأجهزة التي تستشعر الأشعة الكهرومغناطيسية وتقوم بتسجيلها: أولها آلات التصوير الضوئي الفوتوغرافي التي تسجل الأشعة المنعكسة من الهدف على فيلم بعد مرورها من خلال عدسة التصوير. هذه الأجهزة تستطيع فقط أن تسجل حزمة الطيف المرئي والقريب من المرئي (الأشعة تحت الحمراء). وهنالك أجهزة الاستشعار الرقمية أو الإلكترونية التي تتميز بحساسيتها الطيفية العريضة والتي تحّول الأشعة التي تصلها إلى إشارات كهربائية ثم إلى أعداد رقمية تسجل على وسائط لحفظها كبيانات رقمية وتسمى الصورة الرقمية والتي يمكن أيضا أن تحول إلى صورة مرئية. إن النوع الأخير من أجهزة الاستشعار هو الذي ينتج لنا الصور الرقمية التي نحن بصدد دراستها ولذلك سنتحدث عنه بتفصيل أكثر.

هنالك العديد من أنواع أجهزة الاستشعار الإلكتروني أو التصوير الرقمي نقدم فيما يلي نبذة قصيرة عن نوعين من أكثرها استعمالاً.

(٢,٣,١) نظام الماسح متعدد الأطياف ذو المرآة الدوارة Multispectral Scanner

يتكون هذا النظام من ست وحدات استشعار، تستطيع كل منها أن تتحسس عددا من الحزم الطيفية، ومرآة دوارة تدور حول محور لها يصنع زاوية نصف قائمة مع الهدف، وعندما تدور هذه المرآة تمسح سطح الأرض في اتجاه متعامد مع اتجاه حركة الطائرة أو القمر الصناعي، فتستقبل المرآة الأشعة المنعكسة من سطح الأرض وعكسها بدورها إلى وحدات الاستشعار الست. يوضح ذلك الشكل رقم (٢,٢).



الشكل رقم (٢,٢). نمط مسح الأرض بنظام الماسح متعدد الأطياف.

إن مثل هذه النظم هي التي تستخدم على الأقمار الصناعية الأمريكية المعروفة باسم لاندسات (Landsat). ومن هذه النظم جهاز الماسح متعدد الأطياف (Multi Spectral Scanner), (MSS) وهو الذي يكون فيه عدد الحزم الطيفية التي يتحسسها كل جهاز استشعار أربع حزم، وجهاز ماسح الخرائط الموضوعي

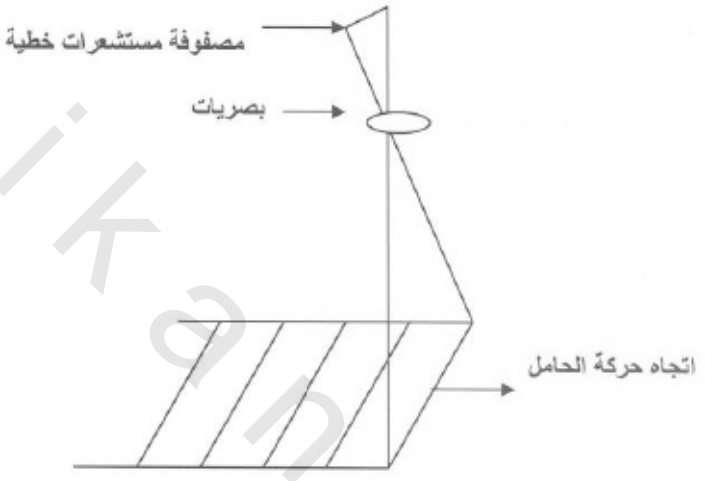
(Thematic Mapper, TM) وهو الذي يكون عدد الحزم المستشعرة بواسطة كل جهـاز استشعار سبع حزم.

إن هذه التقنية سهلة الاستيعاب ومباشرة في أسلوب عملها وحملها للبيانات ولكن من سلبياتها أن المرآة الدوارة تتحرك باستمرار أثناء جمع البيانات مما يجعلها عرضة للتلف والعطب كما تؤثر الحركة نفسها على هندسة الصورة الناتجة.

(٢,٣,٢) نظام الماسح التمشيطي Push Broom Scanner

ومن نظم الاستشعار الإلكتروني ما يقوم بمسح سطح الأرض بطريقة التمشيط (push broom) ويستعمل أجهزة التقاط وتحسس خاصة تسمى أجهزة التخزين المقترنة الشحن (charge coupled devices, CCD). فهذه النظم تعمل من حيث المبدأ مثل آلة التصوير الضوئية العادية، لكن يستبدل فيها الفيلم الحساس بصف من أجهزة الاستشعار الصغيرة جدا والمرصوصة على خط مستقيم، ويبلغ عددها أحيانا ستة آلاف متحسس مرصوصة في خط لا يزيد طوله على عشرة سنتمترات. إن هذه المتحسسات الصغيرة تقوم مقام الحبيبات الكيمائية الموجودة في الفيلم بتحسس الأشعة الكهرومغناطيسية وتحويلها إلى تيار كهربائي ثم يتم تسجيلها رقميا كما في نظام المرآة الدوارة. وكل خط من خطوط الصورة الرقمية يتكون بقياس الإشعاع الذي يصل إلى المستشعرات الخطية من الهدف عن طريق العدسة (الشكل رقم ٢,٣). ويسمى مثل هذا الجهاز ماسح المصفوفة الخطية متعددة الأطياف (Linear Array Multi Spectral Scanner) ذلك لأن أي من هذه الخطوط من المستشعرات يمكن أن تتحسس شريحة طيفية معينة، وذلك يعني أننا نحصل على عدد من الصور الرقمية بقدر عدد الحزم الطيفية التي يتم تحسسها. ومن الواضح أن هذا النظام يختلف من سابقه من حيث إنه لا يحمل أي جزء متحرك كمرآة المسح الدوارة. يستخدم مثل هذا

النظام في القمر الصناعي الفرنسي سبوت (SPOT)، ويحتاج تصنيعه إلى تقنية متطورة ومعقدة.

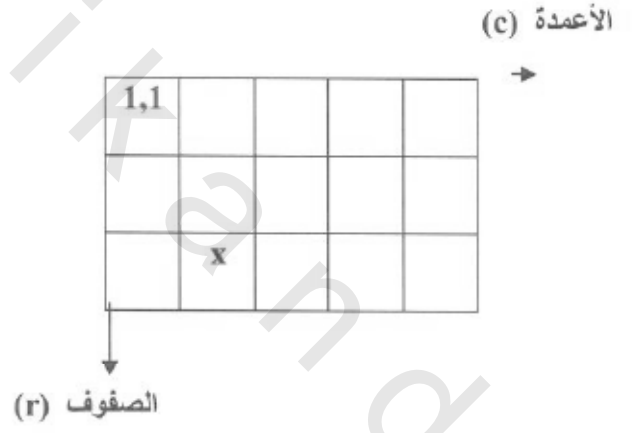


الشكل (٢,٣). نمط مسح الأرض بنظام الماسح التمشيطي.

(٢,٤) بنية الصورة الرقمية Structure of digital image

تتكون الصورة الرقمية من عدد من المربعات الصغيرة المتراصة إلى جانب بعضها بعضاً مشكلة مصفوفة مكونة من أعمدة (c) وصفوف (r) (الشكل رقم ٢,٤) وكل مربع من هذه المربعات يمثل ما يعرف بعنصر الصورة (pixel). هذه الوحدات الصغيرة المرصوصة بهذا النمط تمثل مكانياً مساحات أرضية صغيرة لأهداف على سطح الأرض، يطلق عليها خليات أو عناصر أو وحدات أرضية (ground pixels) كما يظهر في الشكل رقم (٢,٤). ولذلك فإن الصورة الرقمية تتكون من عدد r من الصفوف العرضية بدءاً من يسار الصورة إلى يمينها، وعدد c من الأعمدة بدءاً من

أعلى الصورة إلى أسفلها. وبناءً على هذا الترتيب تكون نقطة الأصل لنظام الإحداثيات في الصورة الرقمية هي عنصر الصورة التي تقع في أقصى يسار الصورة وفي الصف الأعلى وتكون إحداثياتها (1,1)، وفي الشكل رقم (٢,٤) فإن إحداثيات العنصر x هي (3,2) أو عنصر الصورة الثانية في الصف الثالث.



الشكل رقم (٢,٤). تكوين الصورة الرقمية.

وبما أن الصورة الرقمية لحزمة طيفية واحدة يمكن أن تحتوي على آلاف الصفوف وآلاف الأعمدة فإن عدد وحدات الصورة يمكن أن يصل إلى الملايين. وعلى سبيل المثال فإن الصورة الرقمية للقمر الصناعي الأمريكي لاندسات والتي تغطي على الأرض مساحة 185 x 170 km تحتوي على 42 مليون وحدة صورة في نظام الماسح متعدد الأطياف الذي يغطي كل مستشعر فيه أربعة حزم طيفية، و291 مليون عنصر صورة في نظام الماسح الموضوعي ذي الحزم الطيفية السبعة (انظر الجدول رقم ٢,١).

obeikandl.com

الجدول رقم (٢,١). الخصائص الرقمية لصور القمر لاندسات.

النظام الماسح	عدد الصفوف	عدد الأعمدة	عدد وحدات الصورة لكل حزمة (مليون)	عدد الحزم الطيفية	مجموع عناصر الصورة (مليون)
MSS	2983	3548	10.58	4	42.33
TM	5965	6967	41.56	7	290.91

إن كل عنصر من المصفوفة التي تشكل الصورة الرقمية يحتوي على معلومة مهمة تشكل البعد الثالث للصورة الرقمية، هذه المعلومة هي العدد الرقمي (DN) الذي يمثل شدة الأشعة التي استقبلها جهاز التحسس من خلية الهدف الأرضي المقابل. وإذا كان جهاز الاستشعار يستخدم مستشعرات لحزم طيف متعددة فإن كل عنصر صورة (r,c) يحمل مجموعةً من الأعداد الرقمية (DNs) تساوي عدد الحزم (النطاقات) الطيفية (b). ويمكن أن نعبر عن ذلك رياضياً بالمعادلة التالية:

$$DN = E\,(b, r, c) \qquad (2.1)$$

حيث E هي الدالة التي تعبر عن العدد الرقمي لعنصر الصورة ذي الإحداثيات r وc في الحزمة b.

وهنالك بعض المصطلحات المستخدمة لوصف خصائص الصورة الرقمية نحاول أن نقدمها فيما يلي، ونوضح معانيها [8]-[10].

(٢,٥) الأعداد الرقمية Digital Numbers (DN)

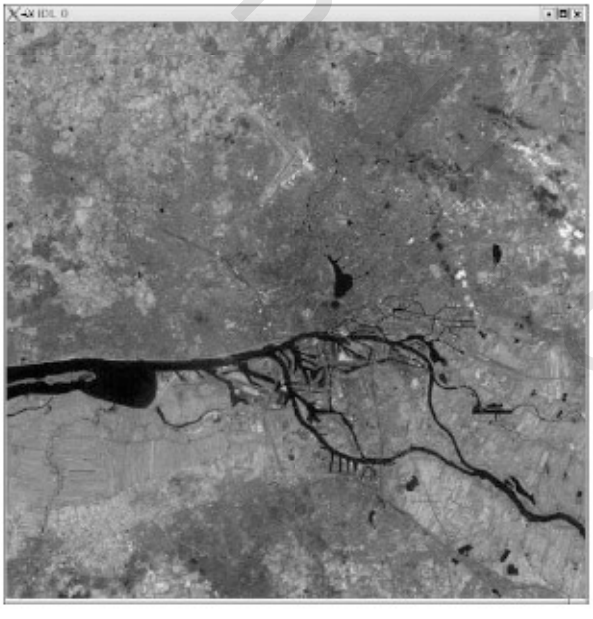
يمثل العدد الرقمي في الصورة الرقمية شدة الأشعة المنعكسة من الهدف الأرضي. وعادة ما تبدأ هذه الأعداد الرقمية بالرقم 0 الذي يمثل عدم وصول أشعة إلى جهاز الاستشعار وبالتالي لوناً أسوداً في الصورة إذا حولت إلى صورة مرئية، وتتدرج الأعداد بعد ذلك بزيادة الأشعة الواصلة للمتحسس، فكلما زادت شدة

الأشعة الواصلة للجهاز زاد العدد الرقمي وأصبح عنصر الصورة أكثر نصاعة حتى نصل إلى العدد الرقمي الأقصى الذي يمثل عنصر صورة هدف أبيض ناصع في نظام التدرج المادي المستخدم.

(٢,٦) الدقة التمييزية المكانية Spatial Resolution

إن العدد الرقمي الذي يسجله جهاز التحسس؛ نتيجة استقباله للأشعة المنعكسة من عنصر أو خلية أرضية هو محصلة كامل الأشعة التي انعكست من ذلك العنصر الأرضي، والمساحة الأرضية التي تمثل هذا العنصر الأرضي والتي تظهر في الصورة الرقمية كوحدة صغيرة pixel) (يطلق عليها الوضوح المكاني للصورة، وكلما كانت مساحة العنصر الأرضي الذي تمثله وحدة الصورة صغيرًا فإن ذلك يشير إلى زيادة الوضوح المكاني للصورة. ذلك يعني أن الصورة الرقمية التي وضوحها المكاني 79m (وهو ضلع العنصر الأرضي الذي مساحته 79x79m) كما هو بالنسبة للمستشعر الماسح متعدد الطيف MSS تعتبر أقل وضوحاً من الصورة التي وضوحها المكاني 30m (مساحة أرضية 30x30m) كما هو بالنسبة لصورة الماسح الموضوعي TM، وكلاهما أقل وضوحاً من صورة اللاقط الضوئي على القمر الفرنسي سبوت SPOT-4 (التي وضوحها المكاني 10x10m للصورة أبيض وأسود أو 20x20m للصورة الملونة). كما ظهرت مستشعرات على أقمار صناعية تعطي وضوحاً مكانياً أعلى من 2x2m كما هو الحال بالنسبة للقمر الصناعي إيكونوس IKONOS، والقمر الصناعي (الطائر السريع) Quick Bird، (انظر الصور في الأشكال ٢,٥ – ٢,١١ – الصور الأربع الأولى تم اختيارها من المكتبة الإلكترونية لصور العالم الرقمية Digital Globe Image Library على شبكة الإنترنت [11] والصور الثلاث الأخيرة من موقعي الوكالة الأمريكية للفضاء [12] وهيئة المسح الجيولوجي الأمريكية [13]).

وتعبر الدقة التمييزية المكانية للصورة عن دقة تحسس جهاز الاستشعار المستخدم. ويعبر أيضا عن الدقة التمييزية المكانية بمجال الرؤية الآني (instantaneous field of view, IFOV) الذي يعبر عن قياس المساحة الأرضية تحت مجال رؤية المستشعر في لحظة معينة. ومع أن ال IFOV ليس هو بالضبط الدقة التمييزية المكانية للصورة لكن من الممكن معرفة عدد وحدات الصورة التي يغطيها مجال رؤية الصورة الكاملة. ويعبر كذلك عنها بكلمة المقياس (scale)، فإذا كانت وحدة الصورة تمثل مساحة صغيرة على الأرض فيقال للصورة إنها ذات مقياس كبير، مثل صور القمر الفرنسي سبوت في مجال الأبيض وأسود أو صور القمر إيكونوس، ويقال للصور ذات وحدات الصورة التي تمثل مساحة كبيرة على الأرض إنها ذات مقياس صغير.



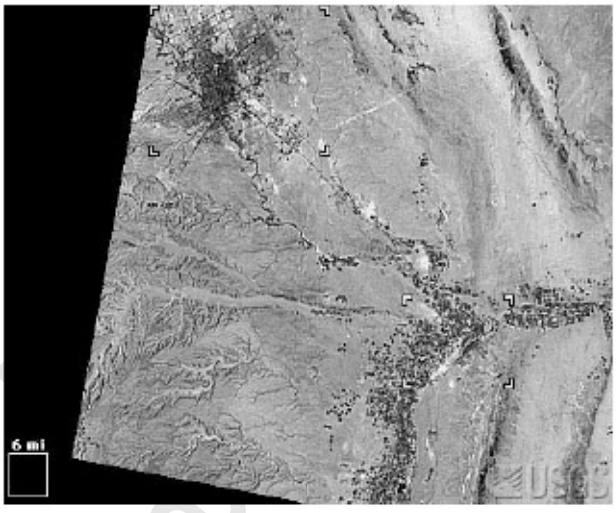
الشكل رقم (٢,٥). صورة من القمر الصناعي الهندي IRS الدقة التمييزية 5 متر [11].

الشكل رقم (٢,٦). صورة من القمر الصناعي الطائر السريع Quick Bird لمدينة سورابيا – أندونيسيا
الدقة التمييزية المكانية للصورة الأصل 2.4 متر [11].

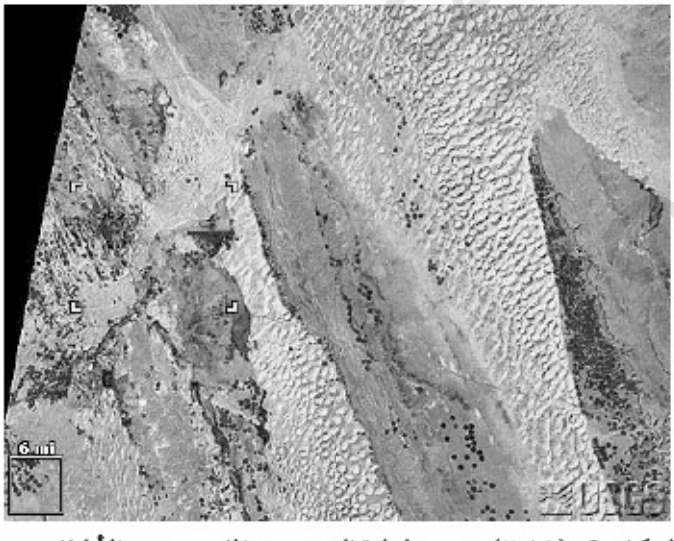
الشكل رقم (٢,٧). صورة من القمر الصناعي الطائر السريع Quick Bird لميناء بسكرة بإيطاليا [11]
الدقة التمييزية المكانية للصورة الأصل 0.6 متر.

الشكل رقم (٢,٨). صورة من القمر الصناعي الطائر السريع Quick Bird للملعب الأولمبي بأثينا
الدقة التمييزية المكانية للصورة 0.6 متر. [11]

الشكل رقم (٢,٩). صورة القمر الصناعي سبوت SPOT لمدينة بغداد
الدقة التمييزية المكانية 10 متر [12].



الشكل رقم (٢,١٠). صورة لمنطقة الرياض من مستشعر الماسح الموضوعي TM
(الدقة التمييزية المكانية 30 متر)
تظهر مدينة الرياض في الركن الأعلى من يسار الصورة – أغسطس ١٩٩٠ [13].



الشكل رقم (٢,١١). صورة لمنطقة القصيم من الماسح متعدد الأطياف MSS
(الدقة التمييزية المكانية 79 متر)
وتظهر مدينة بريدة في وسط الطرف الأيسر من الصورة – فبراير ١٩٨٦ [13].

(٢,٧) الدقة التمييزية الطيفية Spectral Resolution

تعبر الدقة التمييزية الطيفية عن مدى أطوال الموجات في الطيف الكهرومغناطيسي (عرض الحزمة الطيفية) الذي يمكن أن يسجله المستشعر، فإذا كان المدى كبيراً أو الحزمة عريضة فيقال عليه التمييز الطيفي الخشن (coarse spectral resolution) ومثال ذلك مستشعر القمر الفرنسي سبوت الذي يسجل حزمة الطيف أبيض وأسود (بانكروماتيك) فيما بين الموجات ذات الطول من 0.73 µm - 0.51، أي في المدى الواسع 0.22µm أما إذا كانت الحزمة التي يمكن تحسسها ضيقة فيوصف التمييز بأنه تمييز طيفي ناعم (fine) ومثال ذلك مستشعر قمر لاندسات الأمريكي T M الذي يستشعر الحزمة رقم 3 من الموجة ذات الطول 0.63 µm إلى الموجة ذات الطول 0.69µm أي في المدى الطيفي الضيق 0.06µm.

(٢,٨) الدقة التمييزية الإشعاعية Radiometric Resolution

تعني الدقة التمييزية الإشعاعية عدد مجموعات البيانات الرقمية في كل حزمة طيفية، ويشار إليها بعدد البت (number of bits) التي تقسم إليها الطاقة الكهرومغناطيسية المسجلة بواسطة جهاز التحسس. وكمثال لذلك فإن في بيانات البت 8 (8- bit data) تتراوح قيم بيانات المجموعة الرقمية من 0 – 255 لكل عنصر صورة، كما يظهر في الشكل رقم (٢,١٢)، وفي بيانات البت 7 (7- bit data) فإن قيم بيانات هذه المجموعة لكل عنصر صورة تتدرج من 0 – 127 (الشكل رقم ٢,١٣). وكلما زادت قيم بيانات المجموعة صارت الصورة أكثر وضوحاً.

0	1	2		254	255

الشكل رقم (٢,١٢). بيانات البت 8 توزع فيها شدة الأشعة إلى 256 قيمة.

0	1	2		126	127

الشكل رقم (٢,١٣). بيانات البت 7 توزع فيها شدة الأشعة إلى 128 قيمة.

ويوضح الجدول رقم (٢,٢). بيانات البت 6 و7 و8 و10 و12 ومدى الأعداد الرقمية لكل منها.

الجدول رقم (٢,٢). قيم بيانات الملفات الرقمية.

مقياس البت (bit scale)	مدى الأعداد الرقمية (DN)	عدد قيم شدة الأشعة
6 (2^6)	0 - 63	64
7 (2^7)	0 - 127	128
8 (2^8)	0 - 255	256
10 (2^{10})	0- 1023	1024
12 (2^{12})	0-2047	2048

(٢,٩) الدقة التمييزية الزمانية Temporal Resolution

وهذه الدقة مؤشر لعدد المرات التي يستطيع المستشعر تصوير ذات المنطقة في فترة زمنية محددة. على سبيل المثال فإن المستشعر الذي يحمله القمر الصناعي الأمريكي لاندسات يستطيع أن يصور منطقة معينة على سطح الأرض كل 16 يوماً، في حين أن القمر الصناعي الفرنسي سبوت يزور نفس المنطقة كل ثلاثة أيام. وهذا المؤشر له أهميته في عمليات دراسة مراقبة التغير الذي يحدث على سطح الأرض. وعليه كلما قلت الفترة الزمنية التي تفصل بين كل زيارة يقوم بها القمر الصناعي لمنطقة معينة على سطح الأرض والزيارة التي تليها زاد عدد المرات التي يصور فيها المستشعر المحمول على هذا القمر خلال الفترة الزمنية المحددة، وتكون بذلك دقته التمييزية الزمانية أعلى من ذلك الذي يزور المنطقة نفسها عدد مرات أقل في نفس الفترة الزمنية المحددة.

وبعد أن تعرفنا في هذا الفصل على بنية الصورة الرقمية ووسائل جمع بياناتها وبعد أن عرفنا أنواع دقة تمييز الصورة الرقمية فسنقوم بشرح مرحلة إعداد بيانات

الصورة الرقمية للمعالجة في الفصل التالي ومن ثم يتم شرح طرق معالجتها في الفصول اللاحقة.

(٢,١٠) تمارين

(٢,١٠,١) وضح مستعيناً بالرسم تفاعلات الطاقة الشمسية مع سطح الأرض.

(٢,١٠,٢) اشرح عملية التصوير الرقمي باستخدام كل من الماسح متعدد الأطياف والماسح التمشيطي.

(٢,١٠,٣) عدد أنواع التمييز التي توصف بها الصورة الرقمية وعرف كل نوع منها.

(٢,١٠,٤) اشرح ما يعنيه العدد الرقمي في الصورة الرقمية.

(٢,١٠,٥) ما هو مدى الأعداد الرقمية، وكم عدد قيم شدة الأشعة في بيانات البت 8 للصورة الرقمية؟

(٢,١٠,٦) إذا كان عدد الصفوف في صورة رقمية هو 3000 صف وعدد الأعمدة هو 4000 عمود وإذا كان عدد الحزم الطيفية هو ٤ حزم، فاحسب مجموع وحدات الصورة الرقمية.

obeikandl.com