

KING SAUD UNIVERSITY
COLLEGE OF ENGINEERING
RESEARCH CENTER

Final Research Report No. 6/427

**"DIGITAL IMAGE PROCESSING
IN REMOTE SENSING"**

By

Prof. Ismat Mohammed El Hassan

Month 1. 1428 H
Month 1. 2007 G

معالجة الصور الرقمية في الاستشعار عن بعد

Digital Image Processing in Remote Sensing

أ. د. عصمت محمد الحسن

محرم 1428 هـ الموافق يناير 2007 م



فهرس المحتويات

7	مقدمة الكتاب
8	شكر و تقدير
9	فهرس الأشكال
13	فهرس الجداول
14	1. الباب الأول - المقدمة
18	2. الباب الثاني - الصور الرقمية
18	1.2 مقدمة
18	2.2 مرحلة جمع البيانات
19	3.2 أجهزة الاستشعار
20	1.3.2 نظام المسح متعدد الأطياف
21	2.3.2 نظام المسح التمشيطي
22	4.2 بنية الصورة الرقمية
24	5.2 الأعداد الرقمية
24	6.2 الدقة التمييزية المكانية
27	7.2 الدقة التمييزية الطيفية
28	8.2 الدقة التمييزية الإشعاعية
29	9.2 الدقة التمييزية الزمانية
29	10.2 تمارين
31	3. الباب الثالث - إعداد بيانات الصور الرقمية
31	1.3 مقدمة
32	2.3 وسائل حفظ بيانات الصور الرقمية
33	3.3 محتويات الشريط أو القرص
33	4.3 سعة الشريط أو القرص

34	5.3	نظم ترتيب بيانات الصورة الرقمية
34	1.5.3	ترتيب تداخل الحزم خطيا
35	2.5.3	الترتيب التسلسلي للحزمة
36	3.5.3	ترتيب الحزمة بتداخل وحدات الصورة
36	6.3	إعداد بيانات الصور الرقمية للدراسات الإحصائية
39	7.3	تمارين
40	4	الباب الرابع - تصحيح (ترميم) الصور الرقمية
40	1.4	مقدمة
41	2.4	التصحيح الهندسي
41	1.2.4	الأخطاء الهندسية المنتظمة
42	2.2.4	الأخطاء الهندسية العشوائية
43	3.4	إعادة الأعداد الرقمية لوحداث الصورة المصححة
43	1.3.4	طريقة الجار الأقرب
43	2.3.4	طريقة الاستكمال الخطي الثنائي
44	3.3.4	طريقة الطي التكميبي
44	4.4	التصحيح الإشعاعي
44	1.4.4	تصحيح تأثير الغلاف الجوي
46	2.4.4	تصحيح تأثير تغير زاوية سقوط الأشعة الشمسية
47	3.4.4	تصحيح تأثير بعد الشمس من الهدف الأرضي
48	4.4.4	تأثير تضاريس الأرض على كمية الأشعة الواردة للهدف
49	5.4	إزالة الضجيج
50	1.5.4	إزالة ضجيج البنية الشريطية المفقودة
51	2.5.4	إعادة ترميم الصفوف التالفة
52	1.2.5.4	حساب الخصائص الإحصائية للصورة الرقمية
54	2.2.5.4	ترميم ضجيج الصفوف التالفة بطريقة متوسط الصفيين المتجاورين

55	3.2.5.4 ترميم الصفوف التالفة بنموذج العلاقة الخطية
56	3.5.4 الضجيج العشوائي
58	6.4 تمارين
60	5. الباب الخامس - تحسين الصور الرقمية
60	1.5 مقدمة
62	2.5 تمديد التباين الخطي
66	3.5 تمديد التباين اللاخطي
66	1.3.5 التمديد المتساوي لمدرجات التكرار
69	2.3.5 تمديد التباين باستخدام دوال لاخطية
71	3.3.5 تمديد التباين باستخدام التوزيع الطبيعي
74	4.5 التحسين بالألوان الزائفة
77	1.4.5 نموذج الألوان أحمر-أخضر-أزرق
78	2.4.5 نموذج تدرج اللون و التشبع و شدة الإشعاع
80	3.4.5 التحويل بين النظامين
82	5.5 تجزئة الكثافة (بيانات الصورة الرقمية)
85	6.5 تمارين
86	6. الباب السادس - ترشيح الصور الرقمية
86	1.6 مقدمة
87	2.6 مرشح الصورة الرقمية
88	3.6 مرشحات الانتقال العالي
92	4.6 مرشحات الانتقال المنخفض
96	5.6 تمارين
97	7. الباب السابع - تحويل الصور الرقمية
97	1.7 المقدمة
97	2.7 التحويل بالعمليات الحسابية

98	1.2.7 التحويل بعملية الجمع
99	2.2.7 التحويل بعملية الطرح
100	3.2.7 التحويل بعملية الضرب
101	4.2.7 التحويل بعملية القسمة أو النسبة
105	3.7 التحويل باستخدام النسب المركبة
105	4.7 التحويل بعمليات المركبات الأساسية
117	5.7 تمارين
118	8. الباب الثامن - تصنيف الصور الرقمية
118	1.8 مقدمة
119	2.8 البصمة الطيفية
121	3.8 التصنيف المراقب
121	1.3.8 التصنيف بطريقة المسافة الأقصر
124	2.3.8 التصنيف بطريقة متوازيات السطوح
127	3.3.8 التصنيف بطريقة الاحتمالية العظمى
130	4.8 التصنيف غير المراقب
132	5.8 تقييم دقة التصنيف
135	6.8 تمارين
136	المراجع

مقدمة الكتاب

الحمد لله الواحد الأحد الفرد الصمد ، الذي علم بالقلم ، علم الإنسان ما لم يعلم ، و الصلاة و السلام على أشرف المرسلين سيدنا و نبينا محمد و على آله و صحبه أجمعين .

يخضع سطح الكرة الأرضية إلى تصوير مستمر بنظم تحسس و استشعار تختلف عن آلة التصوير الضوئية التقليدية في أنها تعمل في أجزاء كبيرة من مجالات الطيف الكهرومغناطيسي و تأتي هذه الصور في شكل مصفوفات من الأرقام يستطيع الباحث معالجة هذه الأرقام بتقنيات متقدمة تؤدي إلى تحسين الصورة و إلى استخراج معلومات منها تستخدم في مجالات عدة من علوم الأرض مثل متابعة نمو النباتات و أنواع الحبوب و تحديد مواقع الموارد الطبيعية المختلفة على سطح الأرض و تخطيط المناطق الحضرية و الريفية و تقييم التلوث و متابعة الكوارث الطبيعية المختلفة للتخفيف من أثارها .

إن الاستخدام الأمثل لهذه الصور الرقمية في التطبيقات المذكورة يتطلب فهما لعملية الاستشعار و لتقنيات معالجة البيانات الرقمية لهذه الصور التي تحتوي على معلومات هائلة .

إن هذا الكتاب يعتبر مدخلا لفهم تقنيات معالجة الصور الرقمية ابتداء من التعرف على الصور الرقمية و مصادرها و إعداد بياناتها للتعامل معها و التقنيات المختلفة التي تؤدي إلى تحسين الصورة و جعلها في هيئة يسهل استنباط المعلومات منها ، و يركز الكتاب بصورة أكبر على بيانات صور الأقمار الصناعية . و يستجيب الكتاب لنسبة كبيرة من محتويات مواد الاستشعار عن بعد و بخاصة معالجة الصور الرقمية و المساحة التصويرية الرقمية التي تدرس على مستوى الجامعات و المعاهد العليا لطلبة هندسة المساحة ، و أرجو أن يكون الكتاب مفيدا للمتخصصين و الباحثين في مجالات المساحة و العلوم الجغرافية و الجيولوجية و الزراعية و تخطيط المدن و غيرها من علوم الأرض . هذا و قد دخلت المكتبة العربية من كتاب يعالج هذا الموضوع و لذلك فإنني أسأل الله تعالى أن يجعل هذا الكتاب نافعا و مفيدا لكل دارس و باحث في وطننا العربي إنه نعم المولى و نعم النصير .

المؤلف أ.د. عصمت محمد الحسن

شكر و تقدير

يتقدم الباحث بوافر الشكر و التقدير لأسرة مركز البحوث بكلية الهندسة جامعة الملك سعود و على رأسها مدير المركز الدكتور/ طارق بن حمود المسلم الذين قدموا كل ما في وسعهم من دعم مادي و إداري و فني لإنجاز هذا الكتاب كمشروع بحث مسجل في المركز .
و يعبر عن شكره و تقديره أيضا للسيد/ الطيب بخيت إدريس الذي بذل جهدا كبيرا في عملية الطباعة و التنسيق .

أ. د. عصمت محمد الحسن

محرم 1428 هـ ، يناير 2007 م

فهرس الأشكال

- 19 1.2 تفاعلات الطاقة الشمسية قبل وصولها إلى المستشعر
- 20 2.2 نمط مسح الأرض بنظام الماسح متعدد الأطياف
- 22 3.2 نمط مسح الأرض بنظام الماسح المشطي
- 23 4.2 هيئة الصورة الرقمية
- 25 5.2 صورة من القمر الصناعي الطائر السريع QB - وضوح مكاني 2.4 متر
- 26 6.2 صورة من القمر الصناعي الطائر السريع QB - وضوح مكاني 0.6 متر
- 26 7.2 صورة من القمر الصناعي الطائر السريع QB - وضوح مكاني 0.6 متر
- 26 8.2 صورة من القمر الصناعي سبوت SPOT - وضوح مكاني 10 متر
- 27 9.2 صورة بالماسح الموضوعي TM - وضوح مكاني 30 متر
- 27 10.2 صورة بالماسح متعدد الطيف MSS - وضوح مكاني 79 متر
- 28 11.2 بيانات البت 8 - توزيع فيها شدة الأشعة إلى 256 قيمة
- 28 12.2 بيانات البت 7 - توزيع فيها شدة الأشعة إلى 128 قيمة
- 29 13.2 أنواع الوضوح لمستشعر الحزمة 2 في الماسح TM
- 34 1.3 نظام تداخل الحزم الخطي لحفظ بيانات الصورة
- 35 2.3 ترتيب الحزم التسلسلي لحفظ بيانات الصورة
- 36 3.3 نظام ترتيب الحزمة بتداخل وحدات الصورة لحفظ بيانات الصورة
- 37 4.3 المخطط التكراري لبيانات صورة رقمية من 180 وحدة صورة
- 37 5.3 بيانات الصورة الرقمية - مثال
- 38 6.3 المخطط التكراري لبيانات الصورة في المثال
- 42 1.4 تشوه الانحراف الناتج عن دوران الأرض
- 45 2.4 تأثير تبعثر الأشعة على صورة الحزمة 4
- 46 3.4 المخطط التكراري للحزمة 4 و الحزمة 7
- 47 4.4. زاوية سقوط الشمس على الهدف A
- 49 5.4 تأثير ميل الهدف الأرضي على كمية الأشعة الواردة

51	a.6.4 جزء من الصورة الرقمية قبل ترميم الصف المحذوف
51	b.6.4 الجزء أعلاه بعد ترميم الصف المحذوف
54	a.7.4 الصف الثالث في هذه الصورة يعتبر تالفا
54	b.7.4 الصف الثالث بعد عملية الترميم البسيط
56	8.4 الأعداد الرقمية بعد عملية الترميم
57	9.4 جزء من صورة رقمية يحتوي على ضجيج عشوائي
58	10.4 بيانات جزء الصورة بعد إزالة الضجيج
61	1.5 المخطط التكراري للبيانات في الجدول 1.5
63	2.5 الرسم البياني لجدول البحث
63	3.5 المخطط التكراري بعد تمديد التباين
64	4.5 صورة ذات تباين محدود
64	5.5 الصورة بعد إجراء تمديد التباين
65	6.5 رسم بياني لتمديد التباين الخطي الجزئي
69	7.5 الصورة بعد إجراء تمديد التباين المتساوي
72	8.5 منحنى التوزيع الطبيعي
75	9.5 صورة بالألوان الطبيعية من القمر لاندسات 7
76	10.5 صورة الشكل 9.5 بالألوان غير الطبيعية
76	11.5 صورة بالألوان الطبيعية من القمر لاندسات بالماسح الموضوعي TM
76	12.5 الصورة في الشكل 11.5 بالألوان غير الطبيعية
78	13.5 نموذج الألوان RGB
80	14.5 نموذج تدرج اللون و التشبع و شدة الإشعاع
83	15.5 صورة رقمية 4x4 قبل التجزئة العامة
83	16.5 الصورة الرقمية في الشكل 15.5 بعد التجزئة
84	17.5 الصورة الرقمية في الشكل 15.5 بعد إجراء التجزئة متعددة الحدود
87	1.6 مرشح الوزن المتساوي

87	2.6 مصفوفة الصورة الرقمية تحت الترشيح
89	3.6 الصورة في الشكل 5.5 بعد ترشيح الانتقال العالي
89	4.6 مرشح انتقال عالي
90	5.6 مرشح شمال- جنوب
90	6.6 مرشح شمال – غرب
90	7.6 صورة رقمية 5x3
91	8.6 المخطط التكراري للصف الثاني للصورة في الشكل 7.6
91	9.6 صف لمرشح انتقال عالي
91	10.6 الصف الثاني من الصورة بعد إجراء ترشيح الانتقال العالي
92	11.6 المخطط التكراري للصف الثاني بعد إجراء الانتقال العالي
92	12.6 الأعداد الرقمية لصف من خمس وحدات صورة
93	13.6 الأعداد الرقمية لصف وحدات الصورة بعد إجراء ترشيح الانتقال العالي
93	14.6 المخطط التكراري قبل الترشيح
93	15.6 المخطط التكراري بعد الترشيح
94	16.6 الصورة بعد إجراء مرشح الانتقال العالي
94	17.6 صورة من الماسح متعدد الطيف قبل إجراء عملية الترشيح
95	18.6 الصورة الناتجة بعد إجراء ترشيح الانتقال المنخفض
95	19.6 الصورة الناتجة بعد إجراء ترشيح الانتقال العالي
100	1.7 شكل المنحنى التكراري للصورة الناتجة بعد الطرح
102	2.7 منطقة عشبية على جانبي جبل صورت في النطاقين 1 و 2
103	3.7 صورة في حزمة الطيف 5
104	4.7 صورة لذات المنطقة في حزمة الطيف 7
104	5.7 الصورة الناتجة بعد إجراء القسمة بين الحزمتين 5 و 7
107	6.7 الارتباط العالي بين الأعداد الرقمية لصورتَي الحزمة 1 و الحزمة 2
109	7.7 رسم بياني تشتت لبيانات الصورة رقم 1

110	8.7 رسم بياني تشتتي لبيانات الصورة رقم 2
115	9.7 صورة بالألوان الطبيعية من القمر الصناعي لاندسات 4 بالماسح TM قبل المعالجة
116	10.7 صورة المركب الرئيسي الأول
116	11.7 صورة المركب الرئيسي الثاني
116	12.7 صورة المركب الرئيسي الثالث
119	1.8 البصمة الطيفية لثلاثة غطاءات أرضية
120	2.8 تمثيل ثلاثي الأبعاد للنطاقات الطيفية الثلاثة
122	3.8 طريقة المسافة الأقصر
123	4.8 بيانات الحزمة B1
123	5.8 بيانات الحزمة B2
123	6.8 صورة البيانات الحقلية
125	7.8 طريقة التصنيف بمتوازيات السطوح
126	8.8 بيانات الحزمة B1
126	9.8 بيانات الحزمة B2
126	10.8 بيانات حقلية للمنطقة المصورة
129	11.8 التصنيف بطريقة الاحتمالية العظمى
131	12.8 التصنيف الغير مراقب بطريقة التجميع

فهرس الجداول

23	1.2 الخصائص الرقمية لصور لاندسات
29	2.2 قيم بيانات الملفات الرقمية
31	1.3 العد من 0 إلى 11 في النظامين العشري و الثنائي
31	2.3 العد من 98 إلى 101 و من 254 إلى 255 في النظامين العشري و الثنائي
60	1.5 الأعداد الرقمية ل 38000 وحدة صورة
67	2.5 بيانات الصورة الرقمية المدخلة و متابعة الحل
70	3.5 تأثير دالة مربع العدد الرقمي
71	4.5 مد التباين باستخدام الدالة اللوغريتمية
73	5.5 مثال تطبيقي لتمديد التباين باستخدام التوزيع الطبيعي

الباب الأول

المقدمة

Introduction

تعتبر الصور الجوية و الفضائية من مصادر البيانات الهامة للكثير من التطبيقات الهندسية و علوم الأرض المختلفة و لكل ما له صلة بالبحث عن مصادر الثروة التي تحتضنها الكرة الأرضية . و قد استخدم مصطلح الاستشعار عن بعد منذ الستينيات من القرن الماضي . ويعرف الاستشعار عن بعد بأنه تقنية مراقبة و دراسة و التعرف على الظواهر الأرضية أو القريبة من الأرض من دون الإحتكاك بها و ذلك من خلال دراسة و تحليل الأشعة أو الطاقة الكهرومغناطيسية التي تنعكس أو تبتث من تلك الأهداف و التي تحمل خواص الهدف الذي تحت الدراسة [5]-[1] .

و يتم تسجيل هذه الطاقة الكهرومغناطيسية بواسطة أجهزة استشعار تعمل عادة من منصات محمولة في الجو أو الفضاء .

و لهذه التقنية أساليب متعددة . فمن ناحية مصدر الأشعة التي تنعكس من الهدف على الأرض هنالك أشعة طبيعية و هي أشعة الشمس ، و في هذه الحالة تسمى عملية الاستشعار "الاستشعار السلبي" و تمثل الكاميرة الجوية هذا النوع . أما إذا كان مصدر الأشعة هو مصدر اصطناعي نقوم بتوليده بأنفسنا و نصبه على الهدف تسمى العملية استشعار نشط ، و كمثال لذلك نظام الرادار . و مع أن عمليات الاستشعار النشطة لها مميزاتها مثل قابليتها للإستخدام تحت كل الظروف الجوية و إمكانية عملها بالليل و النهار ، إلا أنها أكثر تعقيدا في التطبيق . و لذلك فإن استخدام الأشعة الطبيعية (أشعة الشمس) أو الطاقة الطبيعية هي الأكثر استخداما في عمليات الاستشعار من بعد . و عليه سيكون التركيز في هذا الكتاب على عمليات الاستشعار السالبة التي تعتمد على تحسس أشعة الشمس التي تنعكس من الأهداف التي على سطح الأرض .

و هنالك نوعان أساسيان من الأجهزة التي تستشعر الأشعة الكهرومغناطيسية و تسجلها لنتج منها صوراً لسطح الأرض و ما عليه من أهداف . أول هذه الأجهزة آلات التصوير الضوئي (الفوتوغرافي) (photographic cameras) التي يتم فيها تسجيل الأشعة المنعكسة من الهدف على فيلم بعد مرورها بعدسة آلة التصوير و بعد تفاعلات كيميائية تظهر صورة الهدف على الفيلم ، و هنالك أجهزة الإستشعار الإلكترونية (electronic sensors) و التي تنتج إشارات كهربائية بعد وصول الأشعة إليها ثم تحول هذه

الإشارات إلى أعداد رقمية تتناسب مع كمية الأشعة الواصلة إليها و يكون الناتج صورا رقمية (digital images) يمكن أيضا تحويلها إلى صور مرئية سواء كان ذلك على شاشة أو على فيلم . و تنقسم هذه أيضا إلى: نظم استشعار نشطة (active) و هي التي ترسل الأشعة إلى الهدف و تستقبل الأشعة المنعكسة لتقوم بتحويلها إلى صورة رقمية أو مرئية مثل نظام الرادار ؛ و نظم استشعار سلبية (passive) و هي التي لا ترسل أشعة أو طاقة بل تستقبل الأشعة الصادرة أو المنعكسة من سطح الأرض ثم تحولها إلى صور رقمية ثم مرئية مثل نظام التصوير متعدد الطيف . و الصور الناتجة من النظام الأخير هي التي سيتم التركيز عليها في هذا الكتاب ليكون موافقا لمقرر معالجة الصور الرقمية الذي يقدم لطلبة هندسة المساحة بكلية الهندسة بجامعة الملك سعود.

لقد بدأ تصميم نظم التصوير الرقمي و إعداد برامج استخدامها في استكشاف مصادر الثروة الأرضية منذ عقد الستينات من القرن الماضي . و تتميز الصور الرقمية على الصور الفوتوغرافية التي يتم التقاطها بواسطة آلات التصوير الضوئية الفوتوغرافية من عدة أوجه [6],[5] .

أول هذه المميزات هو أن مدى التدرج الرمادي الذي يمكن أن تعرض فيه الصور الرقمية أكبر بكثير من المدى الذي يمكن أن تعرض فيه الصور المرئية ، ففي حين أن الصورة المرئية يتفاوت المدى الرمادي الذي يمكن أن تعرض فيه فيما بين 15 إلى 30 درجة فقط ، نجد أن الصورة الرقمية يمكن عرضها في مدى رمادي يصل إلى 128 درجة . ثم إن الصورة الرقمية تحتوي على معلومات في شكل أرقام و لذلك فإن تحليلها بواسطة النماذج و التقنيات الرياضية يصبح أسهل بكثير من حال الصور المرئية . إن هذه الخاصية تجعل من الصورة الرقمية قابلة للنسخ عدة مرات من دون أن يؤثر ذلك على قوة وضوحها ، و ذلك بعكس الصور المرئية التي يقل تكرارها بالنسخ من قوة وضوحها . و البيانات الرقمية يسهل إرسالها بالبريد الإلكتروني مما يمكن الباحثين الذين يريدون العمل على نفس البيانات من الوصول إليها في سهولة و يسر . إضافة إلى ذلك فإن التطور الهائل في صناعة و تقنية الحاسبات الآلية قد ساعد كثيرا في التعامل الرياضي مع بيانات الصور الرقمية الهائلة الكم مما سهل إمكانية تطبيق تقنيات تؤدي إلى تخزين بيانات الصور الرقمية و تحسينها و تحليلها و عرضها و تصنيفها أو تفسيرها يدويا و آليا و الحصول على أكبر قدر من المعلومات منها . إن هذه التقنيات سريعة التطور و تشكل جزءا هاما من نظم الاستشعار عن بعد و المساحة التصويرية الرقمية ، و يطلق عليها: معالجة الصور الرقمية و هي التقنيات التي سنتناول دراستها في هذا الكتاب .

و يمكن تقسيم عمليات معالجة الصور الرقمية إلى أربع عمليات أساسية تتم كلها بواسطة الحاسوب و هي:

أ - ترميم الصورة الرقمية (image restoration) : و هي العملية التي يتم فيها معالجة الأخطاء في البيانات المدخلة و إعادة الصورة الرقمية إلى الهيئة التي يفترض أن تكون عليها إذا لم يصحب عملية التصوير مصادر للتشوه أو الأخطاء . و تسمى الأخطاء التي تصحح في هذه المرحلة الأخطاء الهندسية و الأخطاء الإشعاعية و الضجيج في المعطيات أو البيانات المدخلة . و هذه العملية أيضا يطلق عليها المعالجة الأولية ، ذلك لأنها تسبق عمليات معالجة الصورة الرقمية التي يتم فيها تحسين الصورة و استنباط المعلومات منها .

ب - تحسين الصورة الرقمية (image enhancement) : و هي عملية معالجة تجرى على بيانات الصورة الرقمية يتم فيها تحسين البيانات و استبدالها ببيانات جديدة تصبح فيها الصورة أكثر و ضوحا مما يسهل عملية تفسير محتويات الصورة و التعرف على الأهداف التي تغطيها بدقة أكبر . و تتضمن هذه العملية تقنيات تهدف إلى زيادة الفوارق البصرية بين المعالم في الصورة . و من هذه التقنيات التحسين الإشعاعي للصورة بتقنيات تمديد التباين و تحسين الصورة المكاني باستخدام تقنيات الترشيح و التحسين الطيفي للصورة باستخدام تقنيات تحويل بيانات الصورة الرقمية .

ج - تصنيف الصورة الرقمية (image classification) أو استخلاص المعلومات من الصورة الرقمية : و هي العملية التي يتم فيها تحليل بيانات الصورة الرقمية آليا و ذلك بوضع قواعد و نظم كمية تعتمد على قيم الإشعاعات الطيفية المتعددة تصمم للحاسب الآلي لإتخاذ القرار للتعرف على الأهداف التي تغطيها الصورة الرقمية بعد تصنيفها إلى مجموعات تمثل أهدافا ذات قيم إشعاعية متماثلة .

د - دمج مجموعة البيانات (data merging) : و هي عملية يتم فيها وضع برمجيات لإجراء التكامل بين مجموعات متعددة من البيانات لنفس الموقع ، مثل النقاط صور رقمية لنفس المنطقة في تواريخ مختلفة للتعرف على التغيرات التي تحدث بمرور الزمن ، كما يمكن دمج بيانات الصور الرقمية مع بيانات أخرى مثل النماذج الرقمية لسطح الأرض و بيانات الغطاء الأرضي لاستغلالها في نظم المعلومات الجغرافية .

إن هذا التقسيم لمعالجة بيانات الصور الرقمية لا يعني أن هذه الأقسام غير مترابطة مع بعضها ، ذلك أن عملية ترميم الصورة الرقمية لإزالة الضجيج فيها تعتبر من عمليات التحسين (تؤدي دوراً مطابقاً لعملية تحسين الصورة) ، كما أن عمليات التحسين تؤدي إلى تسهيل عملية التصنيف و رفع دقتها .

و في هذا الكتاب سنقوم بعرض أساسيات معالجة الصور الرقمية . و قبل أن نبدأ في ذلك سنقدم تصوراً لخصائص الصورة الرقمية بتقديم نبذة عن أجهزة التصوير الرقمي في الباب الأول ، و من ثم نشرح تكوين الصورة الرقمية و ذلك في الباب الثاني . و في الباب الثالث نتحدث عن الخلفية النظرية التي يتم تصميم تقنيات

معالجة الصورة الرقمية بناء عليها و يشمل ذلك كيفية حفظ بيانات الصورة الرقمية . و في الباب الرابع نشرح عملية ترميم الصورة الرقمية ، و في الأبواب الخامس و السادس و السابع نشرح معالجات الصور الرقمية التي تشمل التحسين الإشعاعي و التحسين المكاني و التحسين الطيفي للصور الرقمية على التوالي . و في الباب الثامن و الأخير يتم تقديم مدخل إلى تقنيات تصنيف الصور الرقمية لإستنتاج المعلومات منها .

الباب الثاني

الصور الرقمية

Digital Images

1.2 مقدمة

إن تقنية الاستشعار عن بعد تتضمن مرحلتين أساسيتين هما مرحلة جمع البيانات و هي عملية تكوين الصور الرقمية و مرحلة تحليل البيانات و تشمل المعالجة و التصنيف . و سنفرد هذا الباب للمرحلة الأولى حتى نتعرف على تكوين الصور الرقمية التي نحن بصدد معالجتها .

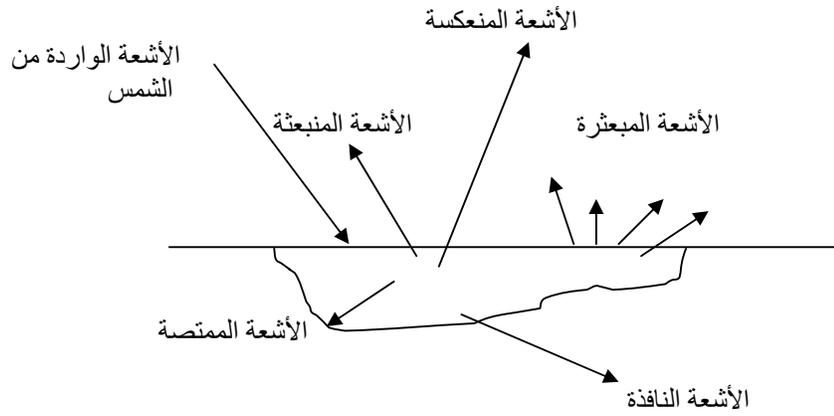
2.2 مرحلة جمع البيانات Data Acquisition

تقتضي مرحلة جمع البيانات وجود مصدر للطاقة ، و كما ذكرنا من قبل فإن مصدر الطاقة الأساس المستخدم في هذه التقنية هو الشمس التي ترسل الطاقة الكهرومغناطيسية في إتجاه الأرض في شكل أشعة . ثم تنتشر هذه الأشعة عبر الغلاف الجوي حتى تصل إلى الأرض ، و تسمى حينئذ الأشعة الواردة (incident radiation) . ثم تتفاعل هذه الأشعة مع الهدف على الأرض فمنها ما يمتصه الهدف فيتحول إلى طاقة أخرى و هي في الغالب تكون طاقة حرارية و تسمى الأشعة الممتصة (absorbed radiation)، و ينتج منها طاقة تنبعث من الجسم تسمى الأشعة المنبعثة (emitted radiation) و منها ما يخترق الهدف و يسمى الطاقة النافذة (transmitted radiation) ، و منها ما ينعكس من الهدف بزواوية إنعكاس مساوية لزواوية السقوط و تسمى الأشعة المنعكسة (reflected radiation) و هي التي تصل إلى جهاز الاستشعار بعد مرورها بالغلاف الجوي فيحولها إلى أعداد رقمية (digital numbers, DN) تكون الصورة الرقمية ، و إذا كان إنعكاس الأشعة منتشراً تسمى الأشعة المبعثرة (scattered radiation) و يوضح الشكل 1.2 التفاعلات المختلفة التي تحصل للطاقة الشمسية حتى تصل إلى جهاز الاستشعار [8]-[5] .

و تشير الحقائق الفيزيائية إلى أن كلا من الأشعة الممتصة و المنقولة و المنعكسة تتغير شدتها حسب طول الموجة و حسب 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 فضاء على القمر الإصطناعي . ثم يقوم جهاز الاستشعار بدوره بتقوية

الأشعة (amplification) المنعكسة و التي غالبا ما تصل إليه في حالة ضعيفة خاصة مع بعد المسافة بين الهدف و الجهاز . ثم يقوم بتحسس هذه الأشعة بعد تقويتها و يحولها إلى تيار كهربائي تتناسب شدته مع شدة الأشعة الواصلة و أخيرا يسجل هذا التيار الكهربائي تسجيلا عدديا . و عليه فإن الأشعة المنعكسة من الهدف تكون قد تحولت بواسطة جهاز الإستشعار إلى مجموعة من الأعداد الرقمية (digital numbers, DN) تتناسب قيمها مع شدة الأشعة . و بما أن الأشعة المنعكسة تختلف شدتها حسب الهدف الذي انعكست منه كما ذكرنا أنفا فإن الأرقام التي يتم تسجيلها بواسطة الجهاز تعبر عن شدة الأشعة المنعكسة و بالتالي عن الهدف الذي انعكست منه .



الشكل (1.2): تفاعلات الطاقة الشمسية قبل وصولها إلى جهاز الإستشعار

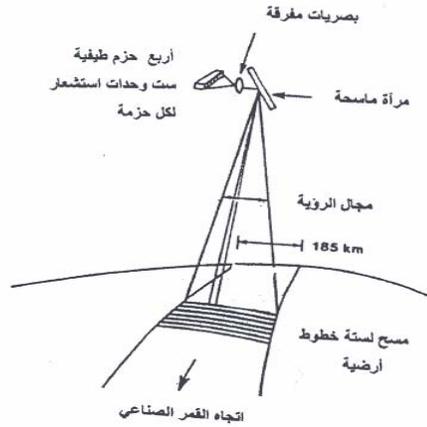
3.2 أجهزة الاستشعار

هنالك نوعان أساسيان من الأجهزة التي تستشعر الأشعة الكهرومغناطيسية و تقوم 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 و القريب من المرئي (الأشعة تحت الحمراء) . و هنالك أجهزة التصوير الرقمية أو الإلكترونية التي تتميز بحساسيتها الطيفية العريضة و التي تحوّل الأشعة التي تصلها إلى إشارات كهربائية ثم إلى أعداد رقمية تسجل على شريط ممغنط و تسمى الصورة الرقمية

و التي يمكن أيضا أن تحول إلى صورة مرئية . إن النوع الأخير من أجهزة الإستشعار هو الذي ينتج لنا الصور الرقمية التي نحن بصدد دراستها و لذلك سنتحدث عنه بتفصيل أكثر .
هنالك العديد من أنواع اجهزة الإستشعار الإلكتروني أو التصوير الرقمي نقدم فيما يلي نبذة قصيرة عن نوعين من أكثرها استعمالا .

1.3.2 نظام الماسح متعدد الأطياف ذو المرآة الدوارة

يتكون هذا النظام من ست وحدات استشعار ، تستطيع كل منها أن تتحسس عددا من الحزم الطيفية ، و مرآة دوارة تدور حول محور لها يصنع زاوية نصف قائمة مع الهدف ، و عندما تدور هذه المرآة تمسح سطح الأرض في اتجاه متعامد مع اتجاه حركة الحامل (طائرة أو قمر صناعي) ، فتستقبل المرآة الأشعة المنعكسة من سطح الأرض و تعكسها بدورها إلى وحدات الاستشعار الست . يوضح ذلك الشكل 2.2 .



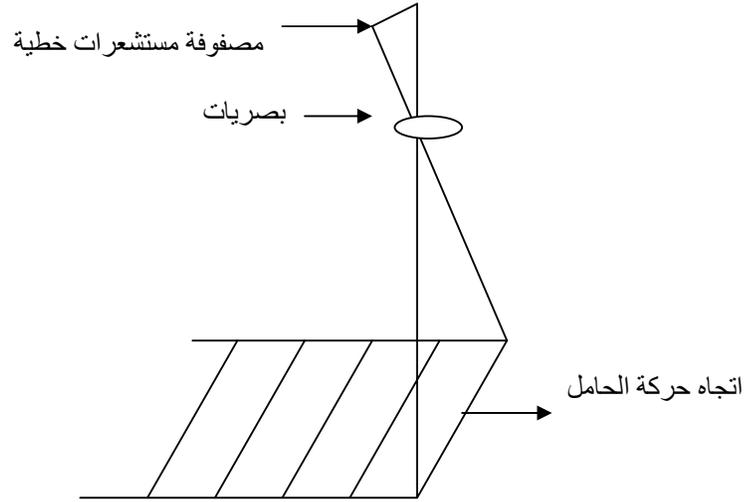
الشكل (2.2): نمط مسح الأرض بنظام الماسح متعدد الأطياف

إن مثل هذه النظم هي التي تستخدم على الأقمار الصناعية الأمريكية المعروفة باسم لاندسات (Landsat) . و من هذه النظم جهاز الماسح متعدد الأطياف (Multi Spectral Scanner), MSS) و هو الذي يكون فيه عدد الحزم الطيفية التي يتحسسها كل جهاز استشعار أربعة حزم ، و جهاز ماسح الخرائط الموضوعي (Thematic Mapper, TM) و هو الذي يكون عدد الحزم المستشعرة بواسطة كل جهاز استشعار سبعة حزم .

إن هذه التقنية سهلة الإستيعاب و مباشرة في أسلوب عملها و حملها للبيانات و لكن من سلبياتها أن المرآة الدوارة تتحرك باستمرار أثناء جمع البيانات مما يجعلها عرضة للتلف و العطب كما تؤثر الحركة نفسها على هندسة الصورة الناتجة .

2.3.2 نظام الماسح التمشيطي Push Broom Scanner

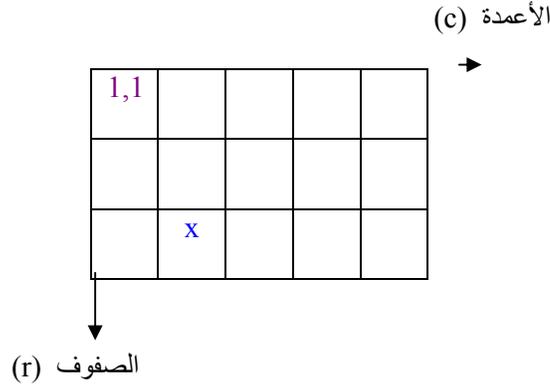
و من نظم الاستشعار الإلكتروني ما يقوم بمسح سطح الأرض بطريقة التمشيط (push broom) و يستعمل أجهزة التقاط و تحسس خاصة تسمى أجهزة التخزين المقترنة الشحن (charge coupled devices, CCD) . فهذه النظم تعمل من حيث المبدأ مثل آلة التصوير الضوئية العادية ، لكن يستبدل فيها الفيلم الحساس بصف من أجهزة الاستشعار الصغيرة جدا و المرصوفة على خط مستقيم ، و يبلغ عددها أحيانا ستة آلاف متحسس مرصوفة في خط لا يزيد طوله على عشرة سنتيمترات . إن هذه المتحسسات الصغيرة تقوم مقام الحبيبات الكيميائية الموجودة في الفيلم بتحسس الأشعة الكهرومغناطيسية و تحويلها إلى تيار كهربائي ثم يتم تسجيلها رقميا كما في نظام المرآة الدوارة . و كل خط من خطوط الصورة الرقمية يتكون بقياس الإشعاع الذي يصل إلى المستشعرات الخطية من الهدف عن طريق العدسة (الشكل 3.2) . و يسمى 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 ، و ذلك يعني أننا نحصل على عدد من الصور الرقمية بقدر عدد الحزم الطيفية التي يتم تحسسها . و من الواضح أن هذا النظام يختلف من سابقه من حيث أنه لا يحمل أي جزء متحرك كمرآة المسح الدوارة . يستخدم مثل هذا النظام في القمر الصناعي الفرنسي سبوت (SPOT) ، و يحتاج تصنيعه إلى تقنية متطورة و معقدة .



الشكل 3.2: نمط مسح الأرض بنظام الماسح التمشيطي

4.2 بنية الصورة الرقمية Structure of digital image

تتكون الصورة الرقمية من عدد من المربعات الصغيرة المترابطة إلى جانب بعضها البعض مشكلة مصفوفة مكونة من أعمدة (c) و صفوف (r) (الشكل 4.2) و كل مربع من هذه المربعات يمثل ما يعرف بعنصر أو وحدة الصورة (pixel). هذه الوحدات الصغيرة المرصوفة بهذا النمط تمثل مكانياً مساحات أرضية صغيرة لأهداف على سطح الأرض ، يطلق عليها خلايا أو عناصر أو وحدات أرضية (ground pixels) كما يظهر في الشكل 4.2 . و بالتالي فإن الصورة الرقمية تتكون من عدد r من الصفوف العرضية بدءاً من يسار الصورة إلى يمينها ، و عدد c من الأعمدة بدءاً من أعلى الصورة إلى أسفلها . و بناءً على هذا الترتيب تكون نقطة الأصل لنظام الإحداثيات في الصورة الرقمية هي وحدة (عنصر) الصورة التي تقع في أقصى يسار الصورة و في الصف الأعلى و تكون إحداثياتها (1,1) ، و في الشكل 4.2 فإن إحداثيات الوحدة x هي (3,2) أو وحدة الصورة الثانية في الصف الثالث .



الشكل 4.2: تكوين الصورة الرقمية

و بما أن الصورة الرقمية لحزمة طيفية واحدة يمكن أن تحتوي على آلاف الصفوف و آلاف الأعمدة فإن عدد وحدات الصورة يمكن أن يصل إلى الملايين . و على سبيل المثال فإن الصورة الرقمية للقمر الصناعي الأمريكي لاندسات و التي 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 ، و 291 مليون وحدة صورة في نظام الماسح الموضوعي ذي الحزم الطيفية السبعة (أنظر الجدول 1.2) .

الجدول 1.2: الخصائص الرقمية لصور لاندسات

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

إن كل مربع صغير من المصفوفة التي تشكل الصورة الرقمية يحتوي على معلومة مهمة تشكل البعد الثالث للصورة الرقمية ، هذه المعلومة هي العدد الرقمي (digital number, DN) الذي يمثل كمية الأشعة التي استقبلها جهاز التحسس من خلية الهدف الأرضي المقابل . و إذا كان جهاز الاستشعار يستخدم مستشعرات

لحزم طيف متعددة فإن كل وحدة صورة (r,c) تحمل عددًا من الأعداد الرقمية (DNs) يساوي عدد الحزم الطيفية (b) . ويمكن أن نعبر عن ذلك رياضياً بالمعادلة التالية:

$$DN = E(b, r, c) \quad (1.2)$$

حيث E هي الدالة التي تعبر عن العدد الرقمي لوحدة الصورة ذات الإحداثيات r و c في الحزمة b .
و هنالك بعض المصطلحات المستخدمة لوصف خصائص الصورة الرقمية نحاول أن نقدمها فيما يلي و نوضح معانيها [8]-[10] .

5.2 الأعداد الرقمية (DN) Digital Numbers

يمثل العدد الرقمي في الصورة الرقمية شدة الأشعة المنعكسة من الهدف الأرضي . و عادة ما تبدأ هذه الأعداد الرقمية بالرقم 0 الذي يمثل عدم وصول أشعة إلى جهاز الاستشعار و بالتالي لوناً أسوداً في الصورة إذا حولت إلى صورة مرئية ، و تتدرج الأعداد بعد ذلك بزيادة الأشعة الواصلة للمتحمس ، فكلما زادت شدة الأشعة الواصلة للجهاز كلما زاد العدد الرقمي و أصبحت وحدة الصورة أو عنصر الصورة أكثر نضاعة حتى نصل إلى العدد الرقمي 255 الذي يمثل وحدة صورة بيضاء .

6.2 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 ، و المساحة الأرضية التي تمثل هذا العنصر الأرضي و التي تظهر في الصورة الرقمية كوحدة صغيرة (pixel) يطلق عليها الوضوح المكاني للصورة ، و كلما كانت مساحة العنصر الأرضي الذي تمثله وحدة الصورة صغيراً فإن ذلك يشير إلى زيادة الوضوح المكاني للصورة . ذلك يعني أن الصورة الرقمية التي وضوحها المكاني 79 m (وهو ضلع العنصر الأرضي الذي مساحته 79x79m) كما هو بالنسبة للمستشعر الماسح متعدد الطيف MSS تعتبر أقل وضوحاً من الصورة التي وضوحها المكاني 30 m (مساحة أرضية 30x30m) كما هو بالنسبة لصورة الماسح الموضوعي TM ، و كلاهما أقل وضوحاً من صورة اللاقط الضوئي على القمر الفرنسي سبوت SPOT (و التي وضوحها

المكاني 10x10m للصورة أبيض و أسود أو 20x20m للصورة الملونة) . كما ظهرت مستشعرات على أقمار صناعية تعطي وضوح مكاني أعلى من 2x2m كما هو الحال بالنسبة للقمر الصناعي إيكونوس IKONOS ، والقمر الصناعي (الطائر السريع) Quick Bird ، (أنظر الصور في الأشكال 5.2 إلى 10.2 - الصور الثلاث الأولى تم اختيارها من المكتبة الإلكترونية لصور العالم الرقمية Digital Globe Image Library على شبكة الانترنت [11] و الصور الثلاث الأخيرة من موقعي الوكالة الأمريكية للفضاء [12] و هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية [13]) .

و تعبر الدقة التمييزية المكانية للصورة عن دقة تحسس جهاز الاستشعار المستخدم . و يعبر 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 . و مع أن ال IFOV ليس هو بالضبط الدقة التمييزية المكانية للصورة لكن من الممكن معرفة عدد وحدات الصورة التي يغطيها مجال رؤية الصورة الكاملة . و يعبر كذلك عنها بكلمة المقياس (scale) ، فإذا كانت وحدة الصورة تمثل مساحة صغيرة على الأرض فيقال للصورة أنها ذات مقياس كبير ، مثل صور القمر الفرنسي سبوت في مجال الأبيض و أسود أو صور القمر إيكونوس ، و يقال للصور ذات وحدات الصورة التي تمثل مساحة كبيرة على الأرض أنها ذات مقياس صغير .



الشكل 5.2: صورة من القمر الصناعي الطائر السريع Quick Bird لمدينة سورابيا - اندونيسيا

الدقة التمييزية المكانية للصورة الأصل 2.4 متر [11]



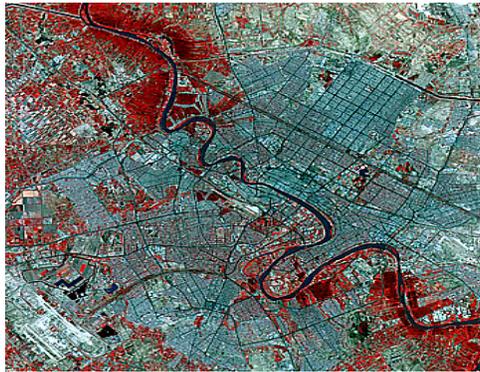
الشكل 6.2: صورة من القمر الصناعي الطائر السريع Quick Bird لميناء بسكرة بإيطاليا [11]

الدقة التمييزية المكانية للصورة الأصل 0.6 متر



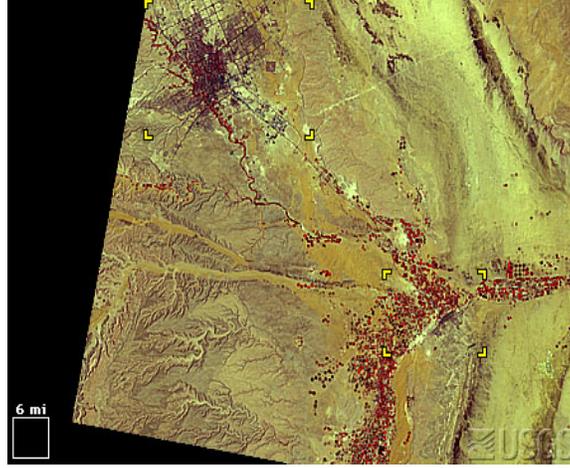
الشكل 7.2: صورة من القمر الصناعي الطائر السريع Quick Bird للملعب الأولمبي بأثينا

الدقة التمييزية المكانية للصورة 0.6 متر [11]

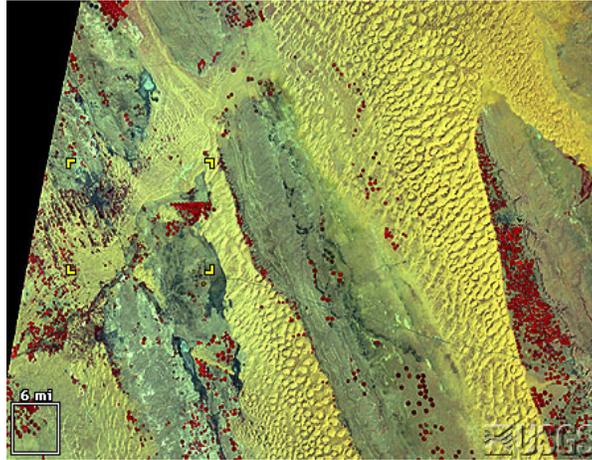


الشكل 8.2: صورة القمر الصناعي سبوت SPOT لمدينة بغداد

الدقة التمييزية المكانية 10 متر [12]



الشكل 9.2: صورة لمنطقة الرياض من مستشعر الماسح الموضوعي TM (الدقة التمييزية المكانية 30متر) تظهر مدينة الرياض في الركن الأعلى من يسار الصورة – أغسطس 1990 [13].



الشكل 10.2: صورة لمنطقة القصيم من الماسح متعدد الأطياف MSS (الدقة التمييزية المكانية 79 متر) و تظهر مدينة بريدة في وسط الطرف الأيسر من الصورة - فبراير 1986 [13].

7.2 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) و مثال ذلك مستشعر القمر الفرنسي سبوت الذي يسجل حزمة الطيف أبيض و أسود (بانكروماتيك) فيما بين الموجات ذات الطول من $0.73 \mu\text{m} - 0.51 \mu\text{m}$ ، أي في المدى الواسع $0.22 \mu\text{m}$ أما إذا كانت الحزمة التي يمكن تحسسها ضيقة فيوصف التمييز بأنه تمييز طيفي ناعم (fine) و مثال ذلك مستشعر قمر لاندسات الأمريكي T M الذي يستشعر الحزمة رقم 3 من الموجة ذات الطول $0.63 \mu\text{m}$ إلى الموجة ذات الطول $0.69 \mu\text{m}$ أي في المدى الطيفي الضيق $0.06 \mu\text{m}$.

8.2 الدقة التمييزية الإشعاعية Radiometric Resolution

تعني الدقة التمييزية الإشعاعية عدد ملفات البيانات الرقمية في كل حزمة طيفية ، و يشار إليها بعدد البت (number of bits) التي تقسم إليها الطاقة الكهرومغناطيسية المسجلة بواسطة جهاز التحسس . و كمثال لذلك فإن في بيانات البت 8 (8-bit data) تتراوح قيم بيانات الملف من 0 إلى 255 لكل وحدة صورة ، كما يظهر في الشكل 11.2 ، و في بيانات البت 7 (7-bit data) فإن قيم بيانات الملف لكل وحدة صورة تتدرج من 0 إلى 127 (الشكل 12.2) . و كلما زادت قيم بيانات ملف الصورة كلما كانت أكثر وضوحاً .

0	1	2		254	255
---	---	---	--	-----	-----

الشكل 11.2: بيانات البت 8 توزع فيها شدة الأشعة إلى 256 قيمة

0	1	2		126	127
---	---	---	--	-----	-----

الشكل 12.2: بيانات البت 7 توزع فيها شدة الأشعة إلى 128 قيمة

و يوضح الجدول 2.2 بيانات البت 6 و 7 و 8 و مدى الأعداد الرقمية لكل منها .

الجدول 2.2: 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

9.2 الدقة التمييزية الزمانية Temporal Resolution

و هذا 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 يوم ، في حين أن القمر الصناعي الفرنسي سبوت يزور نفس المنطقة كل 3 يوم . و هذا المؤشر له أهميته في عمليات دراسة مراقبة التغير الذي يحدث على سطح الأرض . و عليه كلما قلت الفترة الزمنية التي تفصل بين كل زيارة يقوم بها القمر الصناعي لمنطقة معينة على سطح الأرض و الزيارة التي تليها كلما زاد عدد المرات التي يصور فيها المستشعر المحمول على هذا القمر خلال الفترة الزمنية المحددة ، و تكون بالتالي دقته التمييزية الزمانية أعلى من ذلك الذي يزور المنطقة نفسها عدد مرات أقل في نفس الفترة الزمنية المحددة .

و بعد أن تعرفنا في هذا الباب على بنية الصورة الرقمية و وسائل جمع بياناتها و بعد أن عرفنا أنواع دقة تمييز الصورة الرقمية فسنقوم بشرح مرحلة إعداد بيانات الصورة الرقمية للمعالجة في الباب التالي و من ثم يتم شرح طرق معالجتها في الأبواب اللاحقة .

10.2 تمارين

1.10.2 وضح مستعيناً بالرسم تفاعلات الطاقة الشمسية مع سطح الأرض .

2.10.2 اشرح عملية التصوير الرقمي باستخدام كل من الماسح متعدد الأطياف و الماسح التمشيطي .

3.10.2 عدد أنواع التمييز التي توصف بها الصورة الرقمية و عرف كل نوع منها .

4.10.2 يوضح الشكل التالي بيانات صورة رقمية من حزمتين تتكون بيانات كل حزمة من مصفوفة 3×3 ،

المطلوب ترتيب البيانات لتكون على شكل مصفوفة بيانات . أحسب الوسط الحسابي و الخطأ المعياري للصورة

في كل من الحزمتين ، ثم أرسم المخطط التكراري لكل منهما .

3	1	1	2	4	5	6	5	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---

2	4	4	6	7	6	2	3	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---

الباب الثالث

إعداد بيانات الصور الرقمية

Preparation of Digital Image Data

1.3 مقدمة

إنه من المعلوم أن الحاسبات الآلية تحفظ البيانات في نظام ثنائي الأرقام (binary system) ، و الوحدة الأساسية في هذا النظام هي البت (bit) التي تأخذ إحدى القيمتين 0 أو 1 . و من المعلوم أن نظام العد العشري يستخدم بالترتيب الأرقام من 0 إلى 9 ، ثم يبدأ من 10 إلى 99 ثم من 100 إلى 999 ، و هكذا . أما العد في النظام ثنائي الأرقام فيبدأ من 0 و 1 يبدأ من 10 إلى 11 ثم من 100 إلى 111 ثم من 1000 إلى 1111 ، و يوضح الجدول 1.3 أدناه استخدام النظامين في العد من 0 إلى 11 ، و يوضح الجدول 2.3 استخدام النظامين في العد من 98 إلى 101 و من 254 إلى 255 [16]-[14] .

الجدول 1.3: العد من 0 إلى 11 في النظام العشري و النظام الثنائي

العشري	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
الثنائي	0	1	10	11	100	101	110	111	1000	1001	1010	1011

الجدول 2.3: العد من 98 إلى 101 و من 254 إلى 255 في النظامين العشري و الثنائي

العشري	98	99	100	101	254	255
الثنائي	1100010	1100011	1100100	1100101	11111110	11111111

نلاحظ من الجدول 2.3 أن العدد 255 يحتاج إلى 8 أعمدة ليتم تمثيله في النظام الثنائي ، و نقول عليه أنه يحوي 8 بت (8 bits) . و على هذا النهج يتم حفظ بيانات الصور الرقمية في الحاسوب للشروع في معالجتها [14] . و تستخدم في وحدة معالجة الحاسوب وحدة البايت (byte) حيث أن 1 بايت يعادل 8 بت .

و في الحاسوب الذي يستخدم في معالجة بيانات الصور الرقمية توجد ذاكرات تتراوح سعتها لحفظ 256 وحدة صورة في 256 صف إلى 1024 وحدة صورة في 1024 صف .

2.3 وسائل حفظ بيانات الصورة الرقمية Data storage media

توجد وسائط عديدة لحفظ بيانات الصور الرقمية ، و يختار منها المستخدم ما يناسب نظام معالج البيانات الذي يمتلكه . و تأتي البيانات الرقمية للصور عادة في شكل أشرطة (tapes) أو على شكل أقراص ممغنطة (diskettes) . و الفرق بينهما أن الشريط أقل تكلفة إلا أن البيانات فيه تكون موزعة بشكل متوالي . و لذلك فإن قراءة معلومة ما على الشريط تتطلب قراءة البيانات بالتسلسل حتى نصل إلى المعلومة المطلوبة و هو أسلوب بطيء و غير محبذ . أما في حالة الأقراص الممغنطة فإن الحصول على المعلومة يتم بأسلوب الدخول المباشر و هو الأسلوب الأسرع و الأفضل ، مع العلم بأنه إذا كانت البيانات الأصلية على شريط فهناك تقنيات خاصة تستخدم لتحويل البيانات من الشريط إلى الأقراص الممغنطة . و فيما يلي أمثلة لبعض الأشرطة و الأقراص المستخدمة في حفظ بيانات الصور الرقمية [16],[14],[3] .

- شريط المسار-9 (9-track tape) وهو عبارة عن شريط على أسطوانة قطرها 10 بوصات . و هو أقدم وسائط حفظ البيانات الرقمية و ما زال يستخدم ، و سعته فيما بين 120 إلى 150 ميغابايت (1 ميغابايت = 10^6 بايت) .

- الفيلم الملفوف (cartridge) ، و حجمه 4x6 بوصة و سعته 150 ميغابايت . و هو صغير الحجم سهل الحفظ و الترحيل إلا أن سعته مثل سعة الشريط الكبير .

- شريط 4 ملم ، حجمه 2.0x1.75 بوصة و سعته 2000 ميغابايت ، و من مميزاته صغر حجمه و سهولة حفظه و ترحيله ، إضافة إلى أن سعته أكثر من عشرة أضعاف سعة الشريط الكبير المذكور أعلاه .

- شريط 8 ملم ، حجمه 2.5x4.0 بوصة و سعته ما بين 5000 إلى 10000 ميغابايت ، و هو أيضا صغير الحجم ، سهل الحفظ و الترحيل و يحفظ خمسة أضعاف الشريط 4 ملم .

- القرص البصري (optical disc) ، و تصل سعته إلى 644 ميغابايت ، علما بأن استخدامه محصور في قراءة البيانات فقط . و من مميزاته أنه يحافظ على البيانات من المسح و التغيير لعشرات السنين .

3.3 محتويات الشريط أو القرص Tape and diskette contents

للتعرف على محتويات الشريط أو القرص نقرأ العنوان أو الملف الترويسي (header file) إذ أن المعلومات المسجلة بالخارج ضئيلة و ليست كافية للتعرف على المحتويات . و عند فتح الملف الترويسي يمكن التعرف على التالي:

- عدد الأشرطة التي تحمل البيانات المطلوبة .
- عدد الأعمدة في الصورة الرقمية .
- عدد الصفوف في الصورة الرقمية .
- عمق وحدة الصورة (عدد البتات bits) .
- عدد الحزم الطيفية المستشعرة .
- عدد الملفات الترويسية .
- طريقة حفظ البيانات ، و سنتحدث عنها لاحقاً.

4.2 سعة الشريط أو القرص المطلوبة لحفظ البيانات

للتعرف على سعة الشريط أو القرص المطلوبة لحفظ ملف من بيانات (data file) الصور الرقمية يمكن

استخدام المعادلة التالية:

سعة القرص المطلوب = حجم ملف البيانات = VDF

$$VDF = [(c * r * b) * n] * 1.2 \quad (1.3)$$

حيث أن : r = عدد الصفوف في بيانات الصورة الرقمية ،

c = عدد الأعمدة ،

n = عدد الحزم الطيفية ،

b = عمق وحدة الصورة (عدد بتات وحدة الصورة) ،

و القيمة 1.2 هي معامل لزيادة السعة للعمليات الإضافية التي نحتاج لها في معالجة البيانات و يكون دائما قيمة

أكبر من 1 صحيح و أقل من 1.5 .

مثال 1.3

أحسب سعة القرص المطلوب لحفظ بيانات صور رقمية تتكون من 3 حزم طيفية في ملف بيانات من 16 بت ، إذا كان عدد الصفوف 500 ، و عدد الأعمدة 500 .

الحل:

أولا عدد البتات لوحدة الصورة الواحدة = 2.0 بت في حالة ملف بيانات 16 بت ، و بالتعويض المباشر في المعادلة (1.3) :

$$\text{سعة القرص المطلوب} = 1.2 \times [(500 \times 500 \times 2) \times 3] = 1800000 \text{ بت} = 1.8 \text{ ميغابايت}$$

5.3 نظم ترتيب حفظ بيانات الصور الرقمية

يمكن ترتيب بيانات الصور الرقمية في وسائط حفظها بطرق مختلفة ، و سنوضح فيما يلي ثلاثا من أكثر

النظم استخداما [14],[16].

1.5.3 ترتيب تداخل الحزم خطيا (BIL) Band Interleaved by Line

يحتوي ملف البيانات في هذا النظام على صف أو خط فيه بيانات الحزمة الطيفية 1 ثم 2 إلى العدد n من الحزم بالتسلسل . إذا افترضنا أن بيانات الصورة الرقمية تتكون من صفين و سبعة أعمدة و تشمل ثلاث حزم طيفية فإن ملف البيانات يكون فيه الصف الأول لبيانات الحزمة 1 ، يليه الصف الأول لبيانات الحزمة 2 ، ثم الصف الأول لبيانات الحزمة 3 ، يليه الصف الثاني لبيانات الحزمة 1 ، ثم الصف الثاني لبيانات الحزمة 2 ، ثم الصف الثاني لبيانات الحزمة 3 و يوضح ذلك في الشكل 1.3 .

1,1,1	1,2,1	1,3,1	1,4,1	1,5,1	1,6,1	1,7,1
1,1,2	1,2,2	1,3,2	1,4,2	1,5,2	1,6,2	1,7,2
1,1,3	1,2,3	1,3,3	1,4,3	1,5,3	1,6,3	1,7,3
2,1,1	2,2,1	2,3,1	2,4,1	2,5,1	2,6,1	2,7,1
2,1,2	2,2,2	2,3,2	2,4,2	2,5,2	2,6,2	2,7,2
2,1,3	2,2,3	2,3,3	2,4,3	2,5,3	2,6,3	2,7,3

الشكل 1.3: نظام تداخل الحزم الخطي لحفظ بيانات الصورة

2.5.3 الترتيب التسلسلي للحزمة (BSQ) Band Sequential

في هذا النظام يتم حفظ بيانات كل حزمة بالترتيب في نفس الملف . و تحفظ بيانات صور الماسح الموضوعي TM للقمر الصناعي الأمريكي لاندسات بهذا الأسلوب . و من مميزات هذا النظام:

- أن بيانات الحزمة الواحدة تقرأ و تشاهد بسهولة ،
- كذلك يمكن تحميل بيانات مجموعة من الحزم بسهولة في أي ترتيب يريده المحلل ،
- لا نحتاج لتوزيع الملفات على الأشرطة أو الأقراص ،
- إذا بدأنا حفظ بيانات حزمة معينة في شريط معين فإن بيانات الحزمة تنتهي في الشريط نفسه ،
- توجد علامة لنهاية بيانات كل حزمة ،
- توجد علامة تدل على نهاية الشريط .

يوضح الشكل 2.3 طريقة حفظ بيانات صورة مكونة من صفين و سبعة أعمدة و تشتمل على حزمتين من الطيف بطريقة الترتيب التسلسلي للحزمة .

ملف بيانات الحزمة 1						
1,1,1	1,2,1	1,3,1	1,4,1	1,5,1	1,6,1	1,7,1
2,1,1	2,2,1	2,3,1	2,4,1	2,5,1	2,6,1	2,7,1
ملف بيانات الحزمة 2						
1,1,2	1,2,2	1,3,2	1,4,2	1,5,2	1,6,2	1,7,2
2,1,2	2,2,2	2,3,2	2,4,2	2,5,2	2,6,2	2,7,2

الشكل 2.3: ترتيب الحزمة التسلسلي لحفظ بيانات الصورة

3.5.3 ترتيب الحزمة بتداخل وحدات الصورة (BIP) Band Interleaved by Pixel

في هذا النظام يتم ترتيب بيانات وحدة صورة واحدة من كل حزمة طيف مسجلة ، ثم ترتب بيانات وحدات الصورة تسلسليا في حافظ البيانات ، و يوضح الشكل 3.3 هذا الترتيب لحفظ بيانات صورة من صفيين و خمسة أعمدة و تشتمل على حزمتين من الطيف .

1,1,1	1,1,2	1,2,1	1,2,2	1,3,1	1,3,2	1,4,1	1,4,2	1,5,1	1,5,2
2,1,1	2,1,2	2,2,1	2,2,2	2,3,1	2,3,2	2,4,1	2,4,2	2,5,1	2,5,2

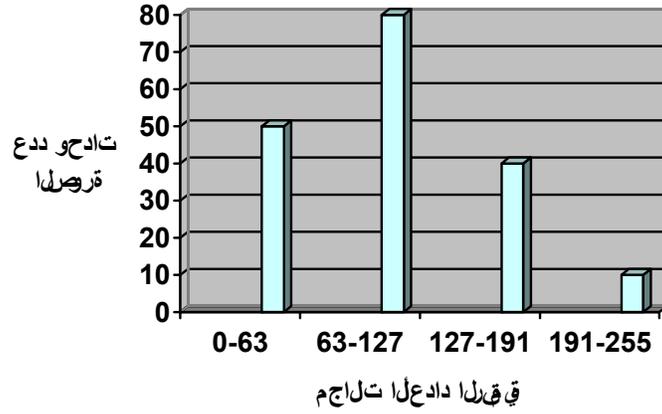
الشكل 3.3: ترتيب الحزمة بتداخل وحدات الصورة

6.3 إعداد بيانات الصور الرقمية للدراسات الإحصائية

لقد عرفنا أن كل وحدة صورة (pixel) تتميز بكمية الأشعة التي تحملها و يعبر عنها بالعدد الرقمي DN ، و هو عدد رقمي صحيح ، و تتراوح قيمته من ناحية عامة بين 0 و 255 حسب كمية الأشعة التي يتحسسها الجهاز المستشعر و لكن عمليا تنحصر هذه القيم في نطاق أضيق من ذلك ، و كل ما كان هذا النطاق ضيقا كلما ظهرت كل الصورة في درجات لون رمادي متقاربة فإما أن تظهر الصورة قاتمة بشكل عام أو ناصعة . و نصف الصورة في هذه الحالة بأنها "ضيقة التباين" . و للتعرف على درجة تباين الصورة نقوم بترتيب البيانات بشكل هندسي يطلق عليه المدرج أو المخطط التكراري .

و لإنشاء المخطط التكراري نقوم بتجزئة المجال الكامل للأشعة المتحسنة إلى عدد من المجالات فإذا أردنا أن نجزي المجال الكامل (0 - 255) إلى أربعة مجالات مثلا يكون عندنا المجال الأول يحتوي الأعداد الرقمية من 0 إلى 63 و المجال الثاني من 63 إلى 127 و المجال الثالث من 127 إلى 191 و المجال الرابع و الأخير من 191 إلى 255 . ثم بعد ذلك نقوم بإحصاء كل وحدات الصورة التي تنتمي إلى المجال الأول و نمثل ذلك بعدد تكرارات هذا المجال من الأعداد الرقمية ، كذلك لبقية المجالات ، و إذا مثلنا هذه القيم على شكل رسم بياني فيه المحور الأفقي يمثل مجالات شدة الأشعة (مجموعات الأعداد الرقمية) و يمثل المحور الرأسي عدد

وحدات الصورة في كل مجموعة كما هو واضح في الشكل 4.3 و يطلق عليه المدرج أو المخطط التكراري (histogram). يمثل هذا الشكل مخطط تكراري لصورة رقمية مكونة من 180 وحدة صورة ، منها 80 وحدة صورة تحمل أعداد رقمية بين 63 و 127 و 50 وحدة صورة تحمل أعداد رقمية بين 0 و 63 ، و 40 وحدة صورة تحمل أعداد رقمية بين 127 و 191 ، و أخيرا 10 وحدات صورة لها أعداد رقمية بين 191 و 255 .



الشكل 4.3: المخطط التكراري لبيانات صورة رقمية من 180 وحدة صورة

و عليه فإن المخطط التكراري يوضح توزيع كمية الأشعة في الصورة الرقمية ، و يتم الاستفادة منه في عمليات معالجة الصور الرقمية كما سنرى لاحقا .

مثال 2.3:

يمثل الشكل 5.3 بيانات صورة رقمية لحزمة طيفية واحدة ، أرسم المخطط التكراري لهذه الصورة .

ثم أوجد متوسط الأعداد الرقمية و الانحراف المعياري لها؟

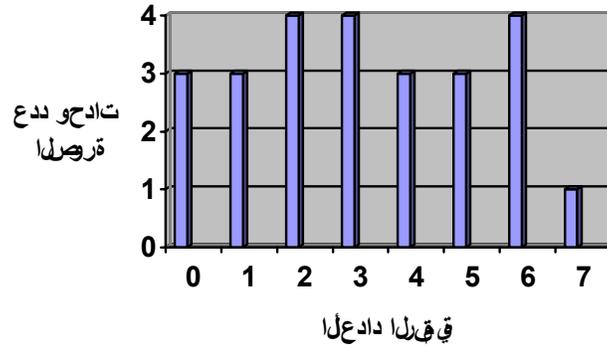
0	3	5	2	7
4	1	6	2	3
2	6	0	4	5
1	3	4	3	6
0	2	5	1	6

الشكل 5.3: بيانات الصورة الرقمية في المثال 2.3 .

الحل:

المخطط التكراري الموضح في الشكل 6.3 تم رسمه لبيانات الصورة على أساس القيم التالية:

7	6	5	4	3	2	1	0	العدد الرقمي
1	4	3	3	4	4	3	3	عدد وحدات الصورة



الشكل 6.3: المخطط التكراري لبيانات الصورة في المثال

متوسط الأعداد الرقمية = $m = \frac{\sum DN}{n}$ = المجموع الكلي للأعداد الرقمية ($\sum DN$) ÷ عدد وحدات الصورة (n)

$$m = \frac{\sum DN}{n} \quad (2.3)$$

$$= \frac{81}{25} = 3.24$$

الانحراف المعياري لبيانات الصورة (σ) يحسب من العلاقة:

$$\sigma = \left\{ \frac{\sum [DN_i - m]^2}{(n-1)} \right\}^{1/2} \quad (3.3)$$

$$\sigma = (108.56/24)^{1/2} = 2.13$$

7.3 تمارين

1.7.3 وضح الفرق بين العد الثنائي و العد العشري من القيمة 101 إلى القيمة 111 .

2.7.3 أحسب سعة القرص المطلوب لحفظ بيانات صورة رقمية تتكون من 4 حزم طيفية في ملف بيانات من

16 بت ، إذا كان عدد وحدات الصورة في كل حزمة 250000 وحدة صورة . استخدم معامل زيادة سعة يساوي

1.3 .

3.7.3 يمثل الشكل التالي بيانات صورة رقمية من حزمتين تغطي كل منهما وحدات صورة 5x5 . رتب

البيانات ترتيباً هندسياً صحيحاً لتكون على شكل مصفوفتين . ثم أحسب الوسط الحسابي و الانحراف المعياري

لبيانات كل منهما .

5	4	7	6	3
---	---	---	---	---

6	3	2	4	5
---	---	---	---	---

3	4	6	5	7
---	---	---	---	---

2	4	4	5	6
---	---	---	---	---

4	3	5	4	5
---	---	---	---	---

4.7.3 يمثل الشكل التالي بيانات لصورة رقمية 5x5 . أرسم المخطط التكراري لهذه الصورة .

5	7	6	4	3
4	3	4	3	2
2	5	7	7	7
4	6	2	2	3
1	4	6	7	7

الباب الرابع

تصحيح (ترميم) الصور الرقمية

Digital Image Restoration

1.4 مقدمة

إن البيانات الأولية (الخام) للمستشعرات لا تمثل بشكل دقيق الأهداف الأرضية التي تم تصويرها و ذلك لأن هذه البيانات تتعرض لبعض التشويه أثناء عملية المسح و التحويل إلى بيانات رقمية . و هنالك عوامل عديدة تؤدي إلى هذا التشويه مثل الغلاف الجوي و تأثيره على الطاقة التي يتحسسها المستشعر ، و حركة الجهاز المستشعر أثناء المسح ، و حركة الحامل سواء كان طائرة أو قمر صناعي ، و دوران الأرض تحت الحامل أثناء حركته . ينتج من كل هذه العوامل تشوه إشعاعي (radiometric distortion) و تشوه هندسي (geometric distortion) و ضجيج منتظم و عشوائي (systematic and random noise) في البيانات التي يسجلها جهاز الاستشعار . و لذلك فإن القيم الرقمية لوحداث الصورة الرقمية لا تمثل تماما الطاقة التي عكسها الهدف الأرضي المقابل ، كما و أن الموقع المكاني للهدف الأرضي على الصورة الرقمية لا يرتبط بصورة دقيقة مع موقعه على الأرض . و يتطلب الأمر إجراء عمليات تصحيحية للبيانات الأولية ، يطلق عليها ترميم البيانات (data restoration) أو المعالجة الأولية للبيانات (preprocessing) بمعنى أن هذه البيانات المستقبلية من جهاز الاستشعار يتم ترميمها أو تصحيحها أو معالجتها قبل الشروع في المعالجة التي تؤدي إلى تحسين البيانات و استخراج المعلومات منها .

و مع أن إجراءات التصحيح لبيانات آلة تصوير الحالة الصلبة (Solid State Camera, SSC) ذات المصفوفات الخطية و لبيانات الماسح متعدد الأطياف MSS تختلف عن تلك التي تطبق على بيانات مستشعر القمر لاندسات و القمر الفرنسي سيوت لكننا لن نقوم بشرح تفصيلي لكل العمليات التصحيحية التي تناسب كل مستشعر لحاله ، بل سنعتمد عناوين عامة يمكن اتباعها و تعديلها لتناسب المستشعر المعين . هذه العناوين ستشمل التصحيح الهندسي و التصحيح الإشعاعي و إزالة أو تهذيب الضجيج (التشويش) .

2.4 التصحيح الهندسي Geometric Correction

تحتوي بيانات الصورة الرقمية الخام عادة على تشوهات هندسية كبيرة بحيث لا يمكن عمل قياسات مساحية دقيقة عليها . و مصادر هذه التشوهات الهندسية من ناحية عامة هي :

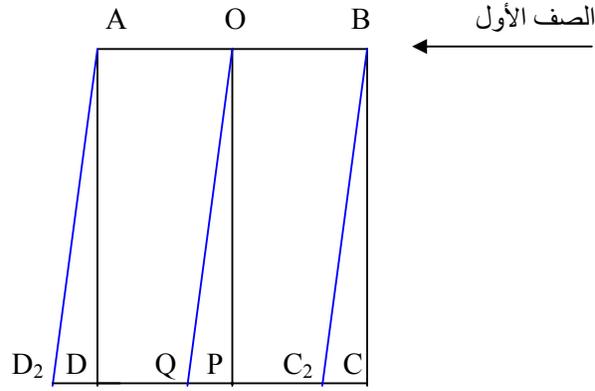
- تغير ارتفاع منصة حامل جهاز الاستشعار و تغير توجيهها و سرعتها (change in platform height, orientation and speed)
- إنحناء أو كروية سطح الأرض ، (earth curvature) و يزداد التشوه كلما زاد ارتفاع الحامل ،
- انكسار الأشعة خلال مرورها من طبقات الغلاف الجوي (atmospheric refraction) ،
- دوران الأرض أثناء عملية المسح (earth rotation) ،
- تغير التضاريس (relief variation) ،
- تشوهات ناتجة من جهاز الاستشعار (instrumental errors) .

و الغاية من عملية التصحيح الهندسي هي تصحيح موقع وحدة الصورة و بالتالي وضع الهدف الأرضي في موقعه الهندسي الصحيح في الصورة .

و يمكن تقسيم الأخطاء الهندسية الناتجة إلى أخطاء منتظمة و أخطاء عشوائية [22]-[16],[14],[9] .

1.2.4 الأخطاء الهندسية المنتظمة

تعرف التشوهات الهندسية المنتظمة من أسبابها أو مصادرها التي ذكرناها من قبل . و بعد معرفة مصدر الخطأ يتم تصميم نموذج رياضي لمعالجة الخطأ . و من أكثر مصادر الأخطاء الهندسية المنتظمة تأثيراً على بيانات مستشعرات الأقمار الصناعية دوران الأرض أثناء التقاط الصورة . إن دوران الأرض في اتجاه الشرق يجعل جهاز المسح يعطي في كل مسحة خطية مساحة من الأرض تقع إلى الغرب قليلاً من المسحة السابقة لها . و هذا التشوه الهندسي الناتج يطلق عليه تشوه الإنحراف (skew distortion) ، و عملية إزالة هذا الإنحراف (de skewing) من بيانات الصورة الرقمية تتطلب إزاحة كل خط أو صف من صفوف المسح المتتالية نحو الغرب بمقدار مساو للإزاحة التي حصلت له نتيجة دوران الأرض ، و ينتج من ذلك شكل متوازي الأضلاع كما في الشكل 1.4 .



الشكل 1.4: تشوه الانحراف الناتج من دوران الأرض

إذا بدأ المستشعر بمسح الخط AB يكون حينئذ وضع الخط الثاني في الموقع CD و يتحرك حامل المستشعر حتي يصل موقع مسح الخط CD ففي هذا الوقت تكون الكرة الأرضية قد تحركت نحو الشرق و ينتج عن ذلك مسح الخط C_2D_2 بدلا عن الخط CD و يكون مسار الحامل هو المسار OQ بدلا عن المسار OP .

2.2.4 الأخطاء الهندسية العشوائية

إن التغير في ارتفاع الحامل و توجيهه و تغيرات التضاريس و غيرها من العوامل ممكن أن تؤدي إلى تشوهات هندسية عشوائية في بيانات الصورة . و لتصحيح التشوهات الهندسية لا بد من وجود نقاط تحكم أرضية (ground control) يمكن التعرف عليها في الصورة الخام و في الخارطة المرجعية . ثم يتم وضع نموذج لتحويل وحدات الصورة الرقمية إلى الموقع الصحيح باستخدام مواقع نقاط التحكم . و من النماذج التي تستخدم في تحويل مواقع وحدات الصورة الرقمية المشوهة إلى مواقع مصححة دالة متعددة الحدود في المعادلتين (1.4) و (2.4) و التي تربط بين إحداثيات وحدة الصورة في البيانات الخام المشوهة هندسيا (x, y) و إحداثياتها في الصورة المصححة هندسيا (x_0, y_0) بواسطة ثوابت يمكن حسابها باستخدام نقاط التحكم .

$$x_0 = a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 x y + a_5 x^2 \quad (1.4)$$

$$y_0 = b_1 + b_2 x + b_3 y + b_4 x y + b_5 x^2 \quad (2.4)$$

3.4 إعادة الأعداد الرقمية لوحدات الصورة المصححة Resampling

بعد عملية تحويل إحداثيات وحدات الصورة من الوضع الخام المشوه هندسيا إلى الإحداثيات الجديدة المصححة يتطلب الأمر إعادة الأعداد الرقمية كل إلى وحدة الصورة التي كان عليها قبل التصحيح . و هنالك طرق مختلفة لإعادة الأعداد الرقمية إلى وحدات الصورة بعد التصحيح الهندسي نذكر منها:

1.3.4 طريقة الجار الأقرب Nearest Neighbour

في هذه الطريقة يتم اختيار العدد الرقمي لأقرب وحدة صورة و يسجل لوحدة الصورة المطلوب إعادة عددها الرقمي . و يمكن التعبير عن هذه الطريقة بالنموذج الرياضي (3.4):

$$I(x,y) = I(u,v) \quad (3.4)$$

حيث أن (x,y) هي إحداثيات وحدة الصورة الخام ، و (u,v) إحداثيات وحدة الصورة نفسها في الصورة المصححة هندسيا ، و تمثل الدالة "I" العدد الرقمي .
هذه الطريقة بسيطة جداً و تجنبنا تغيير الأعداد الرقمية من الصورة الخام . و من عيوب هذه الطريقة أنها ربما تنتج صورة متقطعة البيانات و ذلك لأن مصفوفة الخرج (بيانات الصورة الناتجة) يمكن أن تتزاح مكانيا .

2.3.4 طريقة استنباط الخط المزدوج Bilinear Interpolation

في هذه الطريقة نحسب متوسط الأعداد الرقمية لوحدات الصورة الأربعة المجاورة لوحدة الصورة التي نحن بصدد إعادة عددها الرقمي . و تمثل هذه الطريقة بالنموذج الرياضي التالي:

$$I(x,y) = a_1I(u,v+1) + a_2I(u,v) + a_3I(u+1,v+1) + a_4I(u+1,v) \quad (4.4)$$

ينتج من هذه الطريقة صورة تتمتع بمظهر أفضل من ناتج الطريقة السابقة .

3.3.4 طريقة الطي التكعيبي Cubic Convolution

أما في هذه الطريقة فيتم استخدام ستة عشر وحدة صورة محيطة بوحدة الصورة التي يراد إعادة تسجيلها . و تعطي هذه الطريقة صورة أكثر وضوحا من سابقتها . و يمكن تمثيل هذه الطريقة بالنموذج الرياضي التالي:

$$I(x,y) = \sum a_{m,n} I(u+m, v+n) \quad (5.4)$$

حيث أن $-1 < m,n < 2$

4.4 التصحيح الإشعاعي Radiometric Correction

هنالك عوامل أخرى تتسبب في تشويه الصورة الرقمية من خلال تأثيرها على الطاقة الإشعاعية التي تصل إلى جهاز الاستشعار معكوسة من الهدف الأرضي . و من هذه العوامل نتحدث عن تأثير الغلاف الجوي و تأثير تغير الإضاءة بسبب موقع الشمس بالنسبة للأرض .

1.4.4 تصحيح تأثير الغلاف الجوي Atmospheric Correction

يتسبب الغلاف الجوي في تقليل الطاقة الشمسية التي ترد إلى الهدف الأرضي كما و أنه يقوم بدور عاكس للطاقة فيتسبب في إضافة أشعة مبعثرة (scattered radiation) إلى الطاقة التي تصل جهاز الاستشعار أثناء المسح و يطلق عليه شعاع المسار المتبعثر أو الشعاع الدخيل . و يمكن التعبير عن الإشارة المركبة التي تلاحظ في موقع وحدة الصورة بالمعادلة التالية:

$$R_T = (\rho * I * T) / \pi + R_p \quad (6.4)$$

حيث أن R_T = كمية الأشعة الكلية التي تصل جهاز الاستشعار

ρ = معامل انعكاسية الهدف

I = كمية الأشعة الواردة من الهدف الأرضي

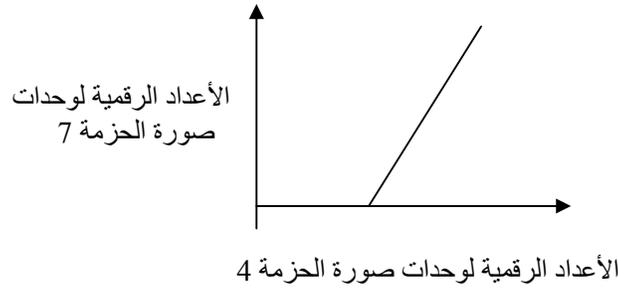
T = نفاذية الغلاف الجوي

R_p = كمية الأشعة الدخيلة (من الغلاف الجوي)

و تعتمد كل هذه القيم على طول الموجة الكهرومغناطيسية . و يلاحظ أن الحد الأول من المعادلة و الذي يمثل انعكاسية الأشعة من الهدف الأرضي هو المعلوم أما الحد الثاني و الذي يمثل شعاع المسار المتبعثر فهو الحد المجهول . و يتسبب الأخير في ضبابية في الصورة تضعف بنيتها و يؤدي إلى تباين ضوئي منخفض ، و يعتمد هذا التبعثر على طول الموجة ، فكلما قصر طول الموجة ازداد التبعثر و بالتالي ازدادت ضبابية الصورة . و على سبيل المثال فإن الحزمة 4 طول الموجات (0.5 - 0.6 um) للماسح متعدد الأطياف MSS تتأثر تأثيراً كبيراً بتبعثر الأشعة الناتج من الغلاف الجوي ، و ذلك بعكس الحزمة 7 التي تشمل الموجات (0.8 - 1.1 um) فيكون التأثير عليها أقل . و هنالك طريقتان لتصحيح هذا التأثير ، تعتمد كل منهما على وجود جسم مائي أو ظل في المنطقة المصورة ، و ذلك لأن الجسم المائي أو الظل يمثل بالعدد الرقمي 0 أو 1 في وحدة الصورة التي تمثله فإذا كان العدد الرقمي لوحدة الصورة التي تمثل الجسم المائي أكبر من ذلك فذلك يدل على وجود تأثير للأشعة المبعثرة الدخيلة . وفي حالة التصحيح لصور الماسح متعدد الأطياف تستخدم الحزمة 7 كمرجع للحزم الأخرى .

الطريقة الأولى:

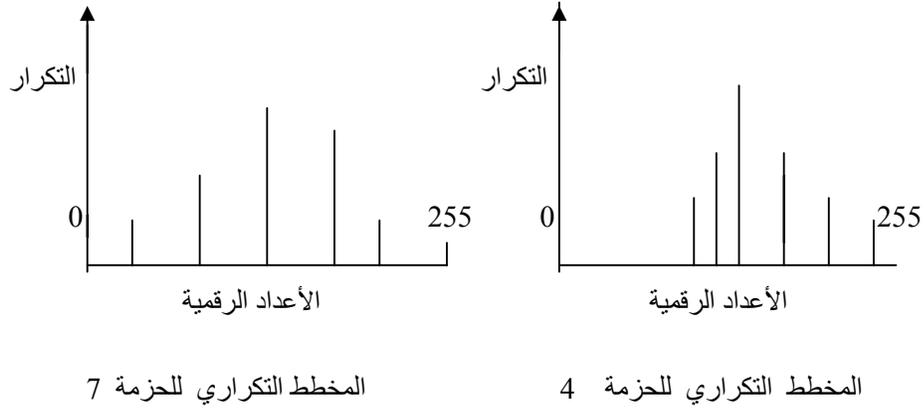
نقوم بتوقيع قيم الأعداد الرقمية لوحدة الصورة من الحزمة 7 مقابل القيم الرقمية لوحدة الصورة المقابلة لها من الحزمة 4 (الشكل 2.4) ، ثم نقوم برسم أقرب خط مستقيم يمثل هذه العلاقة . إذا لم يكن هنالك تأثير لتشتت أو تبعثر الأشعة فإن الخط المستقيم يمر بنقطة الأصل ، و لكن نتيجة تأثير تبعثر الأشعة فإن الخط المستقيم ينزاح من نقطة الأصل على طول المحور الذي يمثل الأعداد الرقمية التي تمثل الحزمة 4 . و يتم التصحيح بطرح قيمة الإزاحة التي حدثت من قيمة العدد الرقمي لكل وحدة صورة من الحزمة 4 . هذه الطريقة يتم تطبيقها على كل من الحزمة 5 و الحزمة 6 مع الحزمة 7 لتصحيح الأعداد الرقمية فيهما .



الشكل 2.4: تأثير تبعثر الأشعة على صورة الحزمة 4

الطريقة الثانية:

في هذه الطريقة نقوم برسم المخطط التكراري لكل حزم النظام الماسح متعدد الأطياف و نبدأ بالحزمة 7 ثم تتم المقارنة بين المخطط التكراري للحزمة 7 مع المخطط التكراري لكل حزمة مستخدمة (مثلا الحزمة 4) ،
يبين ذلك الشكل 3.4 .



الشكل 3.4: المخطط التكراري للحزمة 4 و للحزمة 7

بما أن أقل عدد رقمي في المخطط التكراري للحزمة 7 هو 0 و يمثل الظل أو الجسم المائي فإن أقل عدد رقمي نقرأه من المدرج التكراري للحزمة 4 لا بد من أن يمثل هذا العدد الرقمي الجسم المائي أو الظل و يجب أن تصحح بالتالي الأعداد الرقمية لكل وحدات صورة الحزمة 4 بطرح هذا المقدار الذي هو أدنى رقم عددي في الحزمة 4 قبل التصحيح .

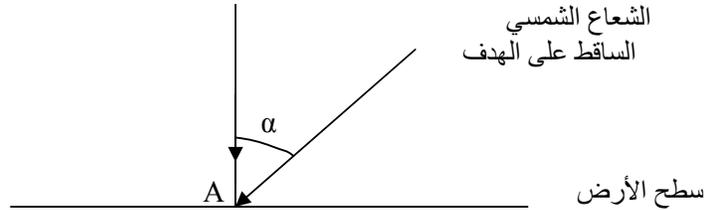
2.4.4 تصحيح تأثير تغير زاوية سقوط الأشعة الشمسية

إن الصور الرقمية التي يتم التقاطها في أوقات مختلفة من السنة تكون أحوال الإضاءة فيها مختلفة بسبب تغير زاوية سقوط الأشعة الشمسية ، إذ أن زاوية سقوط الشمس على الأرض مقاسة من المستوى الأفقي تكون أكبر منها في فصل الشتاء .

إن أحد أهم تطبيقات الاستشعار عن بعد هو دراسة التغير الذي يحدث في منطقة ما من وقت لآخر . إن الصور الرقمية التي يتم التقاطها في أوقات مختلفة لنفس الهدف يحدث فيها تغير للخصائص الطيفية حتى إذا لم يطرأ أي تغير في الخصائص الطيفية للهدف نفسه ، و ذلك بسبب تغير زاوية سقوط الشمس على الهدف وقت التصوير . و عليه فإن دراسة التغير الذي يحدث في منطقة ما بواسطة هذه التقنية يستوجب إزالة تأثير التغير الذي يحدث بفعل تغير زاوية سقوط أشعة الشمس . إن إحدى الطرق المستخدمة لذلك هي اعتماد الزاوية 90 درجة لتكون زاوية سقوط شعاع الشمس لكل الصورة الرقمية بغض النظر عن فصل السنة الذي ألتقطت فيه الصورة و بالتالي يتم تحويل العدد الرقمي لكل وحدة صورة (DN_0) إلى عدد رقمي جديد (DN_n) يكون هو العدد الرقمي في حالة ما كانت زاوية سقوط الشمس 90 درجة ، و نتحصل عليه من المعادلة:

$$DN_n = DN_0 / \cos \alpha \quad (7.4)$$

حيث أن α هي زاوية سقوط الشعاع الشمسي مقيسة من الخط الرأسي الذي يمر بالهدف المصور (الشكل 4.4)



الشكل 4.4: زاوية سقوط الشمس على الهدف A

3.4.4 تصحيح تأثير بعد الشمس من الهدف الأرضي على كمية الأشعة الواردة

تتغير كمية الأشعة الشمسية الواردة إلى الهدف الأرضي بتغير أوقات السنة . فمن المعلوم أن الشمس تكون أقرب إلى الأرض في الثالث من شهر يناير (المسافة بين الشمس و الأرض = 146.4 مليون كيلومتر) ، و تكون المسافة بينهما أبعد ما تكون في الرابع من شهر يوليو (151.2 مليون كيلومتر) . و كما ذكرنا من قبل فإن كمية الطاقة المنعكسة من الهدف الأرضي تتناسب مع كمية الطاقة الشمسية الواردة إليه . و عليه فإن الهدف

تحت التصوير و الذي لم تتغير خصائصه الطيفية يعكس أشعة شمسية في شهر يناير أعلى مما يعكس في شهر يوليو، إذا نظرنا فقط لتأثير بعد الشمس من الأرض [3].

1.4 مثال

إذا كانت الأعداد الرقمية لثلاث وحدات صورة من صورة رقمية ألتقطت في شهر يوليو هي 50, 100, 200 . و إذا لم تتغير الخصائص الطيفية للأهداف الثلاثة فكم تكون الأعداد الرقمية لوحدات صورة تمثل هذه الأهداف في صورة رقمية ألتقطت في شهر يناير ؟

الحل:

إن اختلاف توقيت التصوير يتسبب في اختلاف كمية الأشعة الواردة للهدف و بالتالي يتغير العدد الرقمي لوحدة الصورة . إن معامل اختلاف كمية الأشعة (تغير العدد الرقمي) يطلق عليه قانون "المعامل التربيعي" .
إن كمية الأشعة الواردة للهدف و بالتالي التي يعكسها الهدف في شهر يناير تزيد على كمية الأشعة التي يعكسها الهدف نفسه في شهر يوليو بمعامل $= (151.2/146.4)^2$. و يوضح الحل في الجدول أدناه:

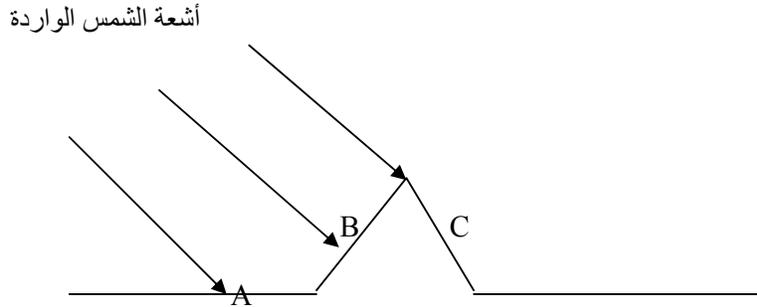
العدد الرقمي في شهر يوليو	العدد الرقمي في شهر يناير
50	$50 \times (151.2/146.4)^2 = 53$
100	$100 \times (151.2/146.4)^2 = 107$
200	$200 \times (151.2/146.4)^2 = 213$

و يلاحظ أن الزيادة المطلقة في العدد الرقمي تكون أكبر في وحدة الصورة ذات العدد الرقمي الأكبر مع أن معامل الضرب التربيعي ثابت .

4.4.4 تأثير تضاريس الأرض على كمية الأشعة الواردة للهدف

تختلف كمية الأشعة الشمسية الواردة للهدف الأرضي بحسب وضعه التضاريسي . إن الهدف الذي يكون على وضع مستوي تصله أشعة شمسية أكبر من التي تصل لهدف يكون على وضع مائل .

يبين الشكل 5.4 ثلاث أهداف أرضية A,B,C على أوضاع تضاريسية مختلفة . إذا افترضنا أن الأهداف الثلاثة لها نفس الخصائص الطيفية فإنها ستعكس كميات أشعة مختلفة بسبب استقبالها لكميات أشعة مختلفة نتيجة أوضاعها التضاريسية المختلفة . فالهدف A و هو في وضع مستوٍ يستقبل أشعة شمسية أقل من الهدف B الذي يكون على وضع مائل و معامد لشعاع الشمس . أما الهدف C و هو أيضا في وضع مائل و لكنه في اتجاه معاكس لإتجاه شعاع الشمس و بالتالي هو لا يستقبل أشعة شمسية و لا يعكسها فيظهر في الصورة الرقمية بعدد رقمي 0 الذي يمثل لونا أسود في الصورة المرئية .



الشكل 5.4: تأثير ميل الهدف الأرضي على كمية الأشعة الواردة

و قد وضعت نماذج رياضية لتصحيح تأثير تغير التضاريس الأرضية على كمية الأشعة التي يستقبلها الهدف الأرضي يتم فيها حساب أعداد رقمية جديدة لوحداث الصورة بإعتبار أن كل الأهداف الأرضية التي تظهر في الصورة تستقبل كميات أشعة متساوية و كأنها على مستوى واحد ، المستوى الأفقي على سبيل المثال .

5.4 إزالة الضجيج Noise Removal

يعرف الضجيج بأنه الاضطراب أو التشوه الذي يحدث في الصورة الرقمية إما بسبب قصور في جهاز الاستشعار مثل الإنزياح الدوري للمستكشف و التداخل بين مكونات جهاز التحسس أو خلال في عملية تسجيل البيانات . و قد يؤدي الضجيج إلى تردي محتوى الصورة الرقمية أو حجبها تماما ، و لذلك فإن إزالة الضجيج

أمر ضروري حتى تصبح الصورة أقرب إلى المشهد الأصلي للأهداف المصورة . و تسبق هذه العملية عمليات تحسين بيانات الصورة و تصنيفها .

و تعتمد تقنيات تصحيح الضجيج على معرفة نمط الضجيج : هل هو ضجيج منتظم و دوري أم هو ضجيج عشوائي أم مزيج من الاثنين . و سنبدأ بتعريف و إزالة الضجيج المنتظم ثم العشوائي [14],[9] .

1.5.4 إزالة ضجيج البنية الشريطية المفقودة Destripping

من المعلوم أن الماسح متعدد الأطياف MSS يسمح ستة خطوط في آن واحد مستخدماً سناً من المستكشفات . و قد يحدث في بعض الصور إختفاء بيانات أحد المستكشفات الست . قد ينتج ذلك بسبب خطأ في هذا المستكشف أو نتيجة عملية توصيل أو تسجيل البيانات أو أثناء إعادة إنتاج شريط التسجيل . و على كل فإن الخطوط المفقودة تظهر على الصورة المرئية خطوطاً بيضاء أو سوداء و في الصورة الرقمية تكون الأعداد الرقمية في مثل هذه الصفوف إما 0 أو 255 .

إن أبسط طريقة لإجراء ترميم البنية الشريطية المفقودة هي إبدال العدد الرقمي المفقود في كل وحدة صورة من هذا الخط بالعدد الرقمي لوحدة الصورة المقابلة لها في الخط السابق أو الخط اللاحق للخط المفقود . إذا رمزنا للعدد الرقمي المفقود بالرمز $DN_{i,j}$ و يمثل العدد الرقمي DN (و قيمته 0 أو 255) لوحدة الصورة i (تقع في العمود i) في الصف j فإننا نستبدله بالعدد الرقمي $DN_{i,j-1}$ و هو العدد الرقمي لوحدة الصورة i (في العمود i) في الصف $j-1$ و هو الصف السابق للصف المفقود ، و نعبر عن ذلك بالمعادلة:

$$DN_{i,j} = DN_{i,j-1} \quad (8.4)$$

و إذا كان الخط المفقود هو أول صف في الصورة فإننا نستبدله بالصف الذي يليه و يصبح النموذج الرياضي كالتالي:

$$DN_{i,j} = DN_{i,j+1} \quad (9.4)$$

و يمثل الشكل a.6.4 جزء من صورة رقمية قبل الترميم و الشكل b.6.4 نفس الجزء من الصورة بعد الترميم .

16	19	24	27	29	31
17	18	22	25	28	30
0	0	0	0	0	0
15	17	20	24	26	33
16	19	23	26	27	32

الشكل a.6.4: الصورة الرقمية قبل ترميم الصف المحذوف

16	19	24	27	29	31
17	18	22	25	28	30
17	18	22	25	28	30
15	17	20	24	26	33
16	19	23	26	27	32

الشكل b.6.4: الصورة أعلاه بعد ترميم الصف المحذوف

2.5.4 إعادة ترميم الصفوف التالفة

إن مستشعرات حزم الطيف الستة في الماسح متعدد الأطياف MSS و الستة عشر في الماسح الموضوعي TM يتم معايرتها بدقة قبل إطلاق القمر الصناعي . و بمرور الزمن فإن حساسية بعض المستشعرات ربما تزيد أو تنقص عن المستوى الذي كانت عليه وقت المعايرة . و ينتج عن ذلك أعداد رقمية شاذة في الصفوف التي تسمح بواسطة المستشعر الذي قلت فعاليته . و يؤدي هذا الشذوذ في الأعداد الرقمية (التلف) إلى إضعاف دقة تصنيف الصورة إضافة إلى تقليل المظهر الجمالي للصورة . و يمكن التعرف على الصفوف التالفة بحساب الخصائص الإحصائية للصورة عامة و يمثلها متوسط الأعداد الرقمية و الانحراف المعياري للصورة كلها ، ثم نحسب متوسط الأعداد الرقمية و الانحراف المعياري لكل صف و نقارن بين الخصائص الإحصائية للأعداد الرقمية للصورة مع الخصائص الإحصائية للأعداد الرقمية للصفوف ، فإذا زاد الفرق بين متوسط الصورة و متوسط واحد من الصفوف على قيمة محددة سلفاً (threshold value) أو زاد

الفرق بين الانحراف المعياري للصورة عامة و الانحراف المعياري لواحد من الصفوف على قيمة محددة ، تعتبر الأعداد الرقمية في هذا الصف غير صحيحة و تشكل ضجيج في الصورة و تحتاج إلى ترميم حتى تكون موافقة للأعداد الرقمية في الصفوف الأخرى . و تعتمد تقنيات معالجة هذا الضجيج على تغيير الأعداد الرقمية في الصفوف التالفة لتتساوى في خصائصها الإحصائية مع الخصائص الإحصائية للصورة عامة .

1.2.5.4 حساب الخصائص الإحصائية للصفوف و للصورة

يمكن حساب متوسط الأعداد الرقمية لكل صف (i) يمثل أحد المستكشفات (الستة في نظام الماسح متعدد الأطياف) بجمع الأعداد الرقمية في ذلك الصف و قسمة حاصل الجمع على عدد وحدات الصورة في الصف ، دعنا نرمز له بالرمز x_i ثم نحسب المتوسط العام للصورة بجمع متوسطات الصفوف و قسمة الحاصل على عدد الصفوف و نرمز له بالرمز x ، ثم نحسب الانحراف المعياري للأعداد الرقمية في كل صف σ_i ، ثم نحسب الانحراف المعياري للصورة عامة (σ) من العلاقة التالية:

$$\sigma = \{ [\sum n_i (x_i^2 + \sigma_i^2) / n_i] - x^2 \}^{0.5} \quad (10.4)$$

حيث أن n_i هي عدد وحدات الصورة في المستكشف i . و حتى يكون تقدير هذه الخصائص الإحصائية مقبولا لا بد من استخدام بيانات كافية ، و بيانات الصورة الرقمية تحقق ذلك .

2.4 مثال

هذا المثال لتوضيح عملية حساب الخصائص الإحصائية للصورة عامة و لصفوف المستكشفات ، و لذلك نكتفي ببيانات قليلة لتسهيل التوضيح .
يبين الجدول بيانات لستة صفوف تمثل ستة مستكشفات في جهاز الماسح متعدد الأطياف ، و يحتوي كل صف على خمس وحدات صورة . المطلوب حساب الخصائص الإحصائية (متوسط الأعداد الرقمية و الانحراف المعياري لها) لكل صف و للصورة عامة .

الأعداد الرقمية لوحدة الصورة					رقم المستكشف
2	3	4	2	4	1
2	7	3	2	6	2
4	2	6	3	8	3
3	4	5	3	8	4
2	2	2	4	6	5
0	4	4	2	8	6

الحل:

يمكن متابعة الحل من الجدول التالي:

المستكشف	المتوسط	مربع المتوسط	الانحراف المعياري	مربع الانحراف المعياري
	x_i	x_i^2	σ_i	σ_i^2
1	3.0	9.00	0.894	0.800
2	4.0	16.00	2.098	4.400
3	4.6	21.16	2.154	4.640
4	4.6	21.16	1.720	2.960
5	3.2	10.24	1.600	2.560
6	3.6	12.96	2.653	7.040
المجموع	23.0	90.52		22.40

المتوسط العام للصورة = مجموع المتوسطات ÷ 6

$$x = 23 / 6 = 3.833$$

نعوض في المعادلة (10.4) لحساب الانحراف المعياري للصورة:

$$\sigma = \{ 5 (22.40 + 90.52) / 30 - (3.833)^2 \}^{0.5}$$

$$= 2.05$$

و الآن يمكن أن نقارن بين الانحراف المعياري لكل صف σ_i و الانحراف المعياري العام للصورة σ . و نلاحظ أن الصف الأول هو الأكثر اختلافا من عامة الصورة بالنسبة للمتوسط و بالنسبة للانحراف المعياري .

2.2.5.4 ترميم ضجيج الصفوف التالفة بطريقة متوسط الصفيين المجاورين

إن إحدى الطرق البسيطة لترميم هذا النوع من الضجيج هي استبدال الأعداد الرقمية لوحدة الصورة في الصف التالف بأعداد رقمية جديدة . يتم ذلك بحساب متوسط العددين الرقميين لوحدة الصورة المجاورتين لوحدة الصورة في الصف التالف و اللتان تقعان في الصف السابق و الصف اللاحق للصف التالف . و نعبر عن ذلك رياضيا بالمعادلة التالية:

$$DN_{ij} = (DN_{i,j-1} + DN_{i,j+1}) / 2 \quad (11.4)$$

و بالطبع فإن العدد الرقمي يكون أقرب عدد صحيح للنتائج . و تكون نتيجة ذلك صورة رقمية محسنة مع أننا استخدمنا قيما صناعية و غير حقيقية . و يمثل الشكل a.7.4 و الشكل b.7.4 على التوالي ، جزءا من صورة رقمية فيها صف تالف و أخرى بعد عملية الترميم باستخدام هذه الطريقة البسيطة . أما الصف التالف فيمكن التعرف عليه بحساب متوسط كل صف ، ثم حساب المتوسط العام للصورة و المقارنة . و النتيجة هي أن متوسطات الصفوف الأربعة على التوالي من أعلى إلى أسفل هي: 20.75 , 44.25 , 21.75 , 20.00 و المتوسط العام للصورة هو 26.69 و عليه فإن الصف الثالث الذي متوسطه 44.25 هو الأكثر اختلافا من المتوسط العام ، و بالتالي هو الصف التالف الذي يجب معالجته .

23	19	18	20
23	24	18	22
45	47	42	43
21	22	20	20

الشكل a.7.4: الصف الثالث في هذه الصورة يعتبر تالفا

23	19	18	20
23	24	18	22
22	23	19	21
21	22	20	20

الشكل b.7.4: الصف الثالث بعد عملية الترميم البسيط

و هذه الطريقة تعجز في معالجة الصف الأول أو الأخير إذا كان أحدهما هو التالف . و يمكن استخدام طريقة معالجة الصف المفقود التي شرحناها من قبل . إذ من الممكن استبدال الأعداد الرقمية للصف التالف بالأعداد الرقمية للصف الذي يليه إن كان هو في أعلى الصورة أو استبداله بالصف السابق له إن كان هو في أسفل الصورة .

و قد تم تطوير العديد من الطرق لمعالجة الصفوف التالفة ، يتم فيها تعديل الأعداد الرقمية في الصف التالف حتى تكون خصائصه الإحصائية مساوية للخصائص الإحصائية للصورة عامة ، و هنالك طرق أخرى يتم فيها رسم المدرج التكراري لكل مستكشف لحد و مدرج تكراري تراكمي لعامة الصورة ثم عمل تنسيق أو توليف بين هذه المدرجات التكرارية و سنقوم بتفصيل إحدى هذه الطرق فيما يلي.

3.2.5.4 ترميم الصفوف التالفة بنموذج العلاقة الخطية Linear method

في هذه الطريقة يتم ربط قيم الأعداد الرقمية المخرجة لكل صف أو مستكشف بالقيم المدخلة له بعلاقة خطية يفترض فيها أن كل مستكشف من مستكشفات الماسح متعدد الأطياف يستطيع أن يتحسس توزيعاً للأهداف الأرضية مماثلاً لما هو موجود في منطقة المسح . إذا كان هذا الافتراض صحيحاً و إذا كانت نسب وحدات الصورة التي تمثل الأهداف الأرضية المختلفة من ماء و نبات و غابات و صخور ، هي نفسها لكل مستكشف فإن مخططات (مدرجات) التكرار (histograms) للأعداد الرقمية لوحدة الصورة لكل المستكشفات المستخدمة يجب أن تكون متطابقة تماماً كما و أن متوسط الأعداد الرقمية و إنحرافها المعياري للمستكشفات المستخدمة يجب أن تتساوى .

و عليه فإن النموذج الرياضي لتغيير الأعداد الرقمية في الصف (المستكشف) التالف بعد التعرف عليه إحصائياً ، و قد تم تطويره في مركز ايروز للبيانات EROS Data Center في أمريكا ، يعبر عنه بالعلاقة الخطية التالية:

$$DN_{O(i,c)} = DN_{I(i,c)} (\sigma / \sigma_i) + x - x_i (\sigma / \sigma_i) \quad (12.4)$$

حيث أن $DN_{O(i,c)}$ = العدد الرقمي المخرج لوحدة الصورة في العمود c من الصف r
 $DN_{I(i,c)}$ = العدد الرقمي المدخل لوحدة الصورة في العمود c من الصف r

و باقي الرموز للخصائص الإحصائية كما عرفت من قبل . و من عيوب هذا النموذج أنه يكون أقل تأثيراً كلما ازداد الفرق بين الخصائص الإحصائية للصف التالف و الخصائص الإحصائية للصورة .
إذا طبقنا هذا النموذج على المثال السابق نحصل على الأعداد الرقمية التالية لوحدة الصورة في الصفوف الأربعة (الشكل 8.4) .

43	21	16	27
32	37	10	28
31	43	14	19
30	42	17	17

الشكل 8.4: الأعداد الرقمية بعد عملية الترميم

و إذا حسبنا المتوسطات للصفوف الأربعة نجدها بالترتيب من أعلى إلى أسفل: 26.50 , 26.75 , 26.75 , 26.69 = و المتوسط العام للصورة = 26.69 .
و الإنحراف المعياري لهذه الصفوف: 10.16 , 10.25 , 11.23 , 10.40 و الإنحراف المعياري لعامة الصورة هو 10.52 .
و يظهر جلياً تقارب الخصائص الإحصائية للصفوف و لعامة الصورة بعد الترميم .

3.5.4 الضجيج العشوائي Random Noise

إن الصفوف المفقودة دورياً و الصفوف التالفة دورياً تتسبب فيما يسمى الضجيج المنتظم ، و قد عرفنا كيف نتعرف على وجود مثل هذا الضجيج و كيف يمكن التخلص منه بطرق بسيطة .
أما الضجيج العشوائي فهو الشذوذ في الأعداد الرقمية لوحدة الصورة الذي لا يتكرر بصفة دورية أو منتظمة .
إنه النشاز الذي يحدث في وحدة الصورة وسط مجموعة من وحدات الصورة حولها . بمعنى أن العدد الرقمي لوحدة من وحدات الصورة يكون مختلفاً اختلافاً ملحوظاً عن الأعداد الرقمية لوحدة الصورة المجاورة . و في الصورة الرقمية تظهر وحدات الصورة الشاذة هذه كبقع سوداء أو نقاط بيضاء تختلف عما يجاورها في الصورة . و نسميه الضجيج العشوائي .

يوضح الشكل 9.4 البيانات الرقمية لجزء من صورة رقمية تتراوح الأعداد الرقمية لوحدات الصورة فيها بين 40 و 60 ، فيما عدا وحدتين : إحداهما عددها الرقمي 90 و الأخرى 0 و تظهر الأولى فيهما في الصورة المرئية بقعة بيضاء و الثانية سوداء .

40	60	50	40	50
40	0	40	90	60
40	60	60	40	50

الشكل 9.4: جزء من صورة رقمية يحتوي على ضجيج عشوائي

و لإزالة مثل هذا الضجيج نستعمل مرشح الوسط المتحرك (moving average filter) . و هو عبارة عن مصفوفة مربعة لوحدات الصورة تتكون من عدد صفوف و أعمدة فردية و متساوية (مثال: 3x3 ؛ 5x5) . و نستعمل في هذه الحالة مصفوفة 3x3 و تسمى أيضا النافذة المتحركة . نحسب أولاً متوسط الأعداد الرقمية لكامل وحدات الصورة . و في هذا المثال يكون المتوسط العام $720/15 = 48$

(مجموع الأعداد الرقمية في كل الصورة = 720 مقسوما على عدد وحدات الصورة = 15) .

و نحسب ثلثي المتوسط العام = $(2/3)*48 = 32$ و نعتبره الحد الأعلى للفرق بين العدد الرقمي لأي وحدة صورة و العدد الرقمي المتوسط . ثم نحسب متوسط الأعداد الرقمية في أول مصفوفة لوحدات الصورة مكونة من 3x3 في يسار الصورة ، هذا المتوسط = $390/9 = 43$ كأقرب عدد صحيح ، ثم نقارن بين هذا المتوسط و العدد الرقمي في مركز المصفوفة الأولى و هو 0 ، فإذا زاد الفرق على الحد المختار و هو 32 فإننا نستبدل العدد الرقمي في المركز بالوسط المحسوب للنافذة 3x3 ، و في هذا المثال الفرق بين 0 و 43 يزيد على الحد المسموح به و هو 32 فنستبدل العدد الرقمي 0 بالعدد الرقمي 43 . ثم نحرك النافذة يمينا عموداً واحداً و نحسب متوسط الأعداد الرقمية في وحدات الصورة التسع و نجدها 49 و نقارن بين هذا المتوسط و العدد الرقمي في مركز النافذة و هو كما في الشكل 9.4 يساوي 40 فنجد أن الفرق و هو 9 في حدود الحد المسموح به . و نتحرك نحو اليمين مرة أخرى و نحسب متوسط الأعداد الرقمية في النافذة الجديدة (53) و نقارن بينه و بين العدد الرقمي في المركز و هو 90 ، و نجد أن الفرق (37) أكبر من الحد المسموح به و عليه نستبدل العدد الرقمي 90 بالعدد 53 . تستمر العملية حتى نكمل الصورة يمينا ثم نرجع إلى اليسار و ننزل إلى أسفل بصف

واحد و تتواصل العملية إلى أن نغطي كل الصورة . و يوضح الشكل 10.4 البيانات الرقمية لجزء الصورة المدخل بعد إزالة الضجيج .
 بالنسبة لكل من الصفين الأعلى و الأسفل نقوم بإضافة صف فيه أعداد رقمية مماثلة للصف الذي قبله أو بعده ، و كذلك بالنسبة للعمود الأول و العمود الأخير حتى يتسنى لنا إكمال مصفوفة مربعة يتم تطبيق المرشح الوسط المتحرك عليها .

40	60	50	40	50
40	43	40	53	60
40	60	60	40	50

الشكل 10.4: بيانات جزء الصورة بعد إزالة الضجيج العشوائي

بعد إجراء التصحيحات المذكورة في هذا الباب تكون الصورة الرقمية جاهزة لعمليات تحسين الصورة و التي تساعد على تفسيرها و تصنيفها . إن الأبواب الثلاثة اللاحقة سيتم فيها شرح مفصل لعمليات معالجة الصورة الرقمية لتحسينها قبل عملية التصنيف .

6.4 تمارين

- 1.6.4 عدد مصادر الأخطاء الهندسية في الصورة الرقمية .
 2.6.4 اشرح كيف تقلل من تأثير الأخطاء الهندسية العشوائية في الصورة الرقمية .
 3.6.4 ما هي مميزات و سلبيات زيادة رتبة درجة معادلة متعددة الحدود التي تستخدم في التصحيح الهندسي للصورة الرقمية ؟
 4.6.4 عرف أنواع الضجيج الذي يحدث في الصورة الرقمية .
 5.6.4 الشكل التالي عبارة عن بيانات صورة رقمية 5x5 . حدد وحدات الصورة التي حدث فيها ضجيج ثم وضح كيف تتم إزالته من الصورة .

2	3	1	4	4
1	10	3	2	5
2	2	3	4	2
4	1	6	0	6
3	4	4	5	3

6.6.4 يبين الشكل التالي بيانات صورة رقمية 4x4 تحتوي على صف تالف . حدد الصف التالف و أجز

عليه عملية الترميم التي تزيل تأثيره على الصورة .

9	8	7	7
6	4	6	8
0	0	0	0
8	4	4	8

الباب الخامس

تحسين الصور الرقمية

Digital Image Enhancement

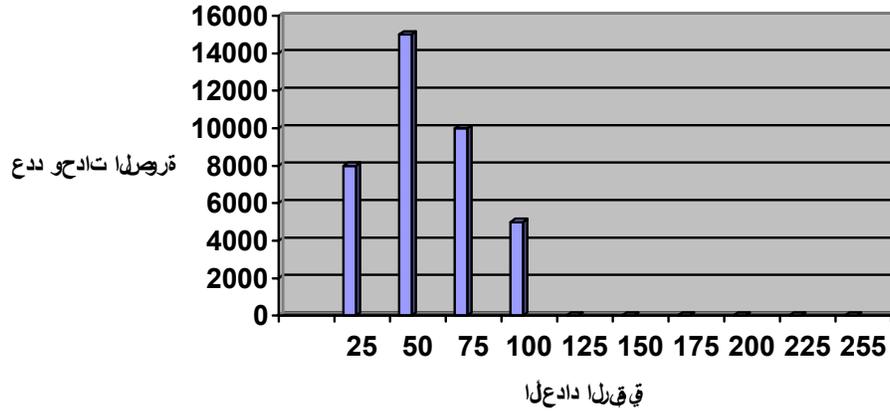
1.5 مقدمة

لقد ذكرنا في الباب الثاني أن التدرج الرمادي للصورة الرقمية و الذي تمثله الأعداد الرقمية يبدأ من الرقم 0 و الذي يمثل ضعفاً شديداً في الشعاع الواصل للمستكشف و بالتالي يمثل اللون الأسود في الصورة المرئية ، و يستمر التدرج بزيادة الأشعة و بالتالي زيادة العدد الرقمي حتى نصل إلى أقصى أشعة تصل إلى المستكشف و تمثل بالرقم 255 معبرا عن اللون الأبيض الناصع في الصورة المرئية . أما من الناحية العملية فإن الأعداد الرقمية التي تمثل وحدات الصورة تنحصر في نطاق معين داخل هذا التدرج . و كلما انحصرت الأعداد الرقمية في نطاق ضيق من هذا التدرج كلما ظهرت المعالم في الصورة المرئية الناتجة بألوان متقاربة جداً مما يجعل تمييزها من بعضها البعض أكثر صعوبة . فإذا انحصرت هذه الأعداد الرقمية في جزء من التدرج قريباً من الصفر كانت الصورة قاتمة بوجه عام ، و إذا انحصرت في الأعداد الكبيرة قريبة من الرقم 255 ظهرت معالم الصورة بيضاء بوجه عام و صار التباين بينها ضعيفاً . و يوضح الجدول 1.5 بيانات لجزء من صورة رقمية تتكون من 38000 وحدة صورة تمثلها أعداد رقمية تتدرج من 25 إلى 100 فقط .

جدول 1.5: الأعداد الرقمية ل 38000 وحدة صورة

الأعداد الرقمية	25	50	75	100
وحدات الصورة	8000	15000	10000	5000

و قد تم تمثيل هذه البيانات في مخطط تكراري (الشكل 1.5) يمثل فيه المحور الأفقي الأعداد الرقمية و المحور الرأسي عدد تكرار هذه الأعداد الرقمية ، أو عدد وحدات الصورة التي لها العدد الرقمي المعين . و هذا المخطط التكراري ، و قد سبق أن تحدثنا عنه في الباب الثاني ، يعطي فكرة مباشرة عن تباين الصورة .



الشكل 1.5: المخطط التكراري للبيانات في الجدول 1.5

و يمكن تعريف التباين بأنه تدرج و توزيع قيم وحدات الصورة الرقمية على المقياس من 0 إلى 255 المستخدم بواسطة الحاسوب ، و بمعنى أوضح هو التدرج من المناطق المظلمة في الصورة إلى المناطق المضيئة ، و يعبر عنه رياضيا بالمعادلة التالية :

$$C = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \quad 1.5$$

حيث أن C تمثل التباين و I_{\max} و I_{\min} تمثلان شدة الإضاءة القصوى و الدنيا على التوالي . و حتى يسهل تفسير الصورة يتم تحسينها إما بتغيير التباين ليشمل كل التدرج الرمادي أو تحويل التدرج الرمادي إلى تدرج لوني .

و لإجراء تحسين لهذا التباين أو للوضوح الإشعاعي للصورة هنالك تقنيات متعددة و جل هذه التقنيات تنطلق من مبدأ تمديد التدرج الرمادي أو توزيع الأعداد الرقمية لوحداث الصورة بحيث تغطي كل المدى الممكن ، أي من السواد الداكن إلى البياض الناصع أو من العدد الرقمي 0 إلى العدد الرقمي 255 ، كما و أن هنالك تقنيات يتم فيها تحويل التدرج الرمادي في الصورة إلى ألوان زائفة ، كل ذلك الغرض منه تسهيل عملية تفسير الصورة و استنباط المعلومات منها . و سنقوم بتفصيل بعض هذه التقنيات في الفصول التالية من هذا الباب .

2.5 تمديد التباين الخطي Linear contrast stretch

إن الفكرة الأساسية كما ذكرنا هي زيادة مدى الأعداد الرقمية في الصورة ، فبدل أن تكون الأعداد الرقمية لوحدات الصورة كلها محصورة في نطاق ضيق (مثل البيانات في الجدول 1.5 و قد تمركزت الأعداد الرقمية بين 25 و 100) و تكون الصورة المرئية قاتمة كلها كما هو الحال في المثال السابق أو ناصعة البياض فإن الهدف هو توزيع الأعداد الرقمية للصورة لتشمل جميع المدى المتاح و هو من 0 إلى 255 ، حتى يكون هنالك مدى تباين واسع بين وحدات الصورة و يسهل من عملية تفسير الصورة المرئية .

إن الدالة المستخدمة في هذه الطريقة هي دالة خطية يمثلها النموذج التالي:

$$DN_o = 255 [(DN_i - DN_{min}) / (DN_{max} - DN_{min})] \quad (2.5)$$

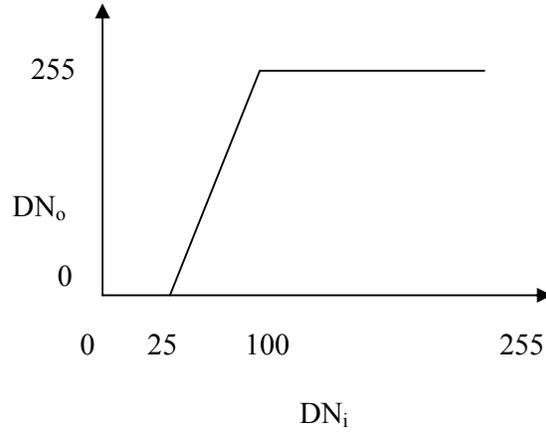
حيث أن DN_o = العدد الرقمي المخرج لوحددة صورة

DN_i = العدد الرقمي الأصلي (المدخل) لوحددة الصورة

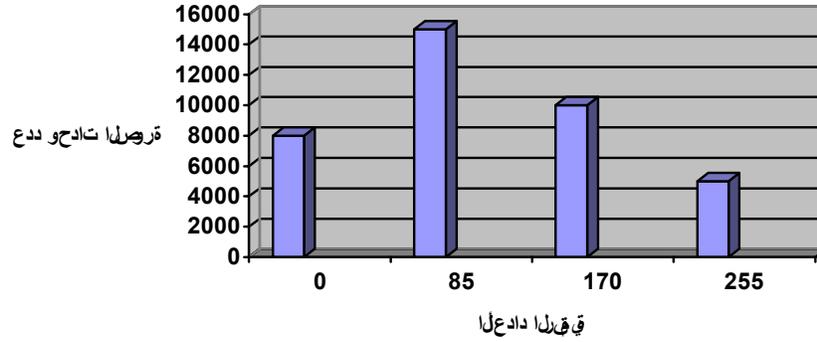
DN_{min} = أقل عدد رقمي في البيانات المدخلة

DN_{max} = أقصى عدد رقمي في البيانات المدخلة

في بيانات الصورة في الجدول 1.5 كانت أدنى قيمة لعدد رقمي (DN_{min}) هي 25 و أقصى قيمة (DN_{max}) هي 100 فإذا أردنا مد التباين لهذه البيانات نستخدم المعادلة (2.5) ، و على سبيل المثال فإن العدد الرقمي 25 سيصبح 0 في البيانات الجديدة لنفس الصورة ، و العدد الرقمي 100 سيصبح 255 ، أما العدد الرقمي 50 سيصبح $85 = 255 [(50-25) / (100- 25)]$ و العدد الرقمي 75 سيصبح $170 = 255 [(75- 25)/(100- 25)]$. و يمكن وضع هذه القيم في جدول يعرف بجدول البحث (look up table, LUT) ويعبر عنه برسم بياني كما في الشكل 2.5 .



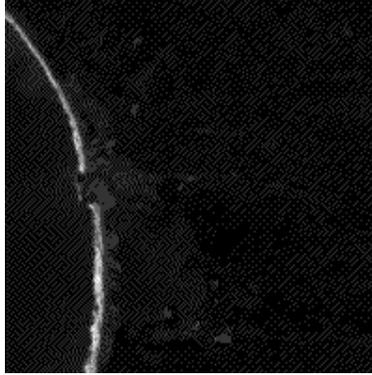
الشكل 2.5: الرسم البياني لجدول البحث



الشكل 3.5: المخطط التكراري بعد مد التباين

إن معالجة وحدة الصورة يمكن أن تتم بكفاءة عالية إذا ما استخدمنا تقنية قائمة البحث LUT ، إذ أنها تجنب تكرار الحسابات . ففي حالة الصورة الرقمية ذات التدرج من 0 إلى 255 فإننا نقوم بحساب القيم المقابلة لهذه الأرقام فقط (256 قيمة) و نضعها على هيئة رسم بياني كما في الشكل 2.5 أو في قائمة . ثم إذا أردنا تحويل العدد الرقمي لأي وحدة صورة من الصورة المدخلة فما علينا إلا أن نقرأ العدد الرقمي المقابل له من قائمة البحث . إن من مميزات تقنية قائمة البحث تبسيط و تقليل كمية الحسابات ، فإذا كنا سنضيف قيمة معينة لكل وحدة صورة لصورة رقمية مكونة من 512x512 وحدات صورة فيلزمنا أن نقوم بإجراء 262144 عملية حسابية ، كما و أننا نحتاج إلى ضعف هذا الرقم من العمليات الحسابية للتحقق من النتائج . يوضح الشكل 3.5

المخطط التكراري للصورة الرقمية بعد إجراء تمديد التباين الخطي . كما يبين الشكل 4.5 صورة ذات تباين محدود لمنطقة ساحلية يظهر فيها خط الساحل فقط فاصلا بين اليابس و الماء (الصورة من الموقع [12]) و يبين الشكل 5.5 ذات الصورة بعد إجراء تمديد التباين الخطي لها باستخدام برنامج (إيرداس) ERDAS لمعالجة الصور الرقمية [23]. لاحظ كيف أن تمديد التباين يساعد في إبراز ما تحتويه الصورة من ظواهر طبيعية ، خاصة في المنطقة اليابسة ، مما يساعد في إجراء عملية تفسير الصورة و التعرف على تفاصيلها .



الشكل 4.5: صورة ذات تباين محدود قبل إجراء مد التباين [12]



الشكل 5.5: الصورة بعد إجراء مد التباين الخطي

مثال 1.5

تتدرج الأعداد الرقمية في بيانات صورة رقمية مدخلة من أدنى قيمة 55 إلى أقصى قيمة DN_{max} و المطلوب إجراء تمديد التباين لبيانات هذه الصورة لتغطي المدى من 0 إلى 255 . إذا كانت وحدة الصورة ذات العدد الرقمي 75 عند الإدخال تحولت إلى 68 بعد إجراء تمديد التباين الخطي ، أحسب قيمة العدد الرقمي DN_{max} الذي يمثل قيمة العدد الرقمي القصوى في الصورة المدخلة .

الحل:

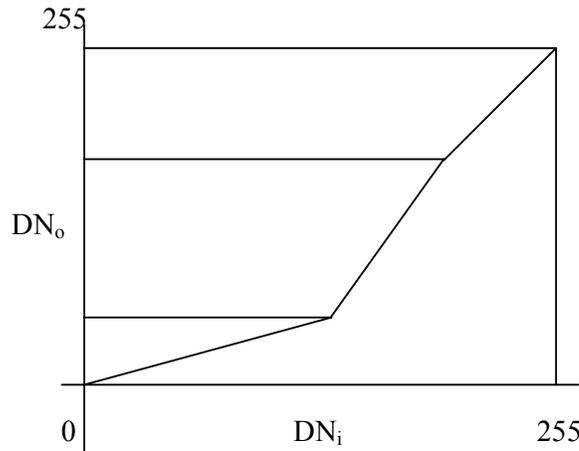
من المعادلة 2.5 :

$$DN_o = 68 = 255 [(75 - 55) / (DN_{max} - 55)]$$

$$DN_{max} = [255 (75 - 55) / 68] + 55$$

$$= 130$$

إن هذه التقنية هي الأبسط و الأكثر استعمالاً . و مع ذلك فهناك تقنيات أخرى تستخدم في حالات معينة . فعلى سبيل المثال طريقة تمديد التباين الخطي الجزئي (piecewise contrast stretch) يتم فيها تقسيم جدول البحث إلى أقسام . و كل جزء يتم فيه تمديد التباين بنسبة معينة و يستخدم عندما تكون هنالك مناطق في الصورة تحتاج إلى مد التباين بنسبة عالية مثل المناطق التي فيها ظلال و التباين فيها قليل ، لكن يجب مراعاة أن تكون قيم البيانات مستمرة أو غير متقطعة و أن يكون خط التباين متجهاً إلى أعلى ، و يمثل ذلك الرسم البياني لجدول البحث في الشكل 6.5 .



الشكل 6.5: رسم بياني لجدول البحث لتمديد التباين الخطي الجزئي

3.5 تمديد التباين اللاخطي Nonlinear stretch

إن الأساس في طريقة تمديد التباين الخطي هو أن يتم مد مستويات الأعداد الرقمية المتساوية بقيم متساوية ، و لا يؤخذ في الاعتبار عدد وحدات الصورة التي تحمل نفس العدد الرقمي . من الممكن أن تكون هنالك نسبة كبيرة جداً من وحدات الصورة تحمل نفس العدد الرقمي ، و بعد أن يتم تمديد التباين الخطي لهذه الصورة تصبح نسبة وحدات الصورة التي تحمل نفس العدد الرقمي ضئيلة جداً بالنسبة للصورة عامة . هنالك تقنيات لتمديد التباين تقوم بتمديد تباين البيانات المدخلة بمقدار يتناسب مع عدد وحدات الصورة التي تحمل نفس العدد الرقمي و لذلك فهي تعطي تبايناً أفضل على مستوى أكبر من بيانات الصورة . و من بين هذه التقنيات طريقة التمدد المتساوي لمخططات التكرار (histogram equalization) .

1.3.5 التمدد المتساوي لمخططات التكرار Histogram equalization

تهدف هذه الطريقة إلى أن يكون عدد وحدات الصورة متساوياً في كل مستوى من مستويات الأعداد الرقمية بعد عملية تمديد التباين . و بناء على ذلك فإن شكل المخطط (المدرج) التكراري يكون منتظماً . و تستخدم هذه التقنية مع الطرق المتقدمة لتحسين الصورة .

و يتم إجراء هذه العملية بإتباع الخطوات التالية:

1 - التعرف على العدد الكلي لوحدات الصورة (N) و عدد مستويات الأعداد الرقمية التي توزع عليها وحدات الصورة (T) (إذا افترضنا أن الأعداد الرقمية تأخذ التدرج من 0 إلى 255 فإن عدد المستويات يكون 256) و من ثم نحسب عدد وحدات الصورة التي نهدف لأن تكون موجودة في كل مستوى من مستويات الأعداد الرقمية (n_t) و نحصل عليه بقسمة مجموع وحدات الصورة على عدد مستويات الأعداد الرقمية :

$$n_t = N / T \quad (3.5)$$

و الخطوة الثانية هي تحويل المدرج التكراري لبيانات الصورة المدخلة إلى شكل تراكمي . فمثلاً عدد وحدات الصورة المدخلة في مستوى الأعداد الرقمية من 0 إلى z نشير إليه بالرقم k_j . هذه القيمة نحصل عليها بجمع عدد وحدات الصورة المدخلة التي تقع في مستويات الأعداد الرقمية من 0 إلى z :

$$k_j = n_0 + n_1 + n_2 + \dots + n_j \quad (4.5)$$

حيث أن n_j هو عدد وحدات الصورة في مستوى العدد الرقمي j .

إذا وجدنا رقم المستوى j_0 و هو أول عدد يزيد على العدد المطلوب n_i فإننا حينئذ نحول كل المستويات المدخلة و التي تساوي j_0 أو تقل إلى مستوى مخرج 0 . ثم نبحث في قائمة البحث LUT على المستوى j_1 و هو الذي يزيد على ضعف العدد المطلوب ($2n_i$) ثم نحول كل المستويات الأكبر من j_0 و ليست أكبر من j_1 إلى المستوى المخرج 1 و نستمر على هذا النهج حتى نكمل كل القيم المخرجة ، مع مراعاة أنه في حالة تحويل أكثر من قيمة j_i إلى نفس المستوى المخرج نختار قيمة j_i الأكبر ، و ذلك يعني أن عدد المستويات المخرجة قد يقل عن عدد المستويات المدخلة . إن تطبيق هذه الطريقة ليس بتلك الصعوبة و يمكن متابعته من خلال المثال التالي

مثال 2.5

قسمت الأعداد الرقمية لوحدة صورة رقمية إلى 16 مستوى ، من 0 إلى 15 ، و يوضح الجدول 2.5 أعداد وحدات الصورة في كل مستوى . المطلوب إجراء مد التباين المتساوي لمدجات التكرار لهذه البيانات .

الجدول 2.5: بيانات الصورة الرقمية المدخلة و متابعة الحل

المستوى الجديد للأعداد الرقمية (المخرجة)	عدد وحدات الصورة التراكمي	عدد وحدات الصورة في المستوى	مستوى الأعداد الرقمية (المدخلة)
0	1500	1500	0
0	4000	2500	1
0	9000	5000	2
1	19000	10000	3
1	32000	13000	4
3	57000	25000	5
5	87000	30000	6
7	129000	42000	7
11	189000	60000	8
14	239000	50000	9
15	249000	10000	10
15	253000	4000	11
15	257000	4000	12
15	260000	3000	13
15	260000	0	14
15	260000	0	15

الحل:

أولاً: نحسب مجموع وحدات الصورة في كل المستويات = 260000 وحدة صورة

ثانياً: نحسب عدد وحدات الصورة التي نهدف لأن تكون موجودة في كل مستوى ، وهي المتوسط =

$$n_t = 260000 / 16 = 16250$$

ثالثاً: نحسب عدد وحدات الصورة التراكمي للمستويات من 0 إلى 15 و نسجل هذه القيم في العمود

الثالث في الجدول 2.5 أعلاه . نبحت في العمود الثاني عن أول قيمة تراكمية تزيد على n_t (16250) و نجد

أن القيمة التراكمية 19000 في الصف الرابع المقابل للمستوى المدخل 3 هي التي تحقق ذلك ، و عليه فإن

مستويات الأعداد الرقمية المدخلة الأقل وهي 0 و 1 و 2 كلها نعطيها القيمة 0 في المستويات المخرجة (العمود

الرابع) ، أما المستوى 3 الذي يكون عنده القيمة التراكمية أكبر من $1n_t$ فنعطيه المستوى 1 في المستويات

المخرجة . ثم نبحت عن القيمة التراكمية التي تزيد على أو تساوي $2n_t$ (32500) و نجد أن القيمة

التراكمية التي تحقق ذلك هي 57000 التي تقابل المستوى المدخل 5 فنعطيها المستوى المخرج 2 و ما قل منها

و زاد على 19000 نعطيه المستوى 1 الذي أعطيناه للقيمة 19000 . ثم نبحت عن القيمة التراكمية التي تزيد

على أو تساوي $3n_t$ (48750) و نجد أن القيمة السابقة نفسها 57000 تحقق ذلك ، و لذلك فإن هذه

القيمة تستحق المستوى المخرج 3 بدل المستوى 2 و عليه فإن المستوى المخرج 2 يظل بدون وحدات صورة .

ثم نبحت عن القيمة التراكمية التي تزيد على أو تساوي $4n_t$ (65000) و نجد أن القيمة التراكمية

87000 تحقق ذلك ، بل إنها تزيد على $5n_t$ (81250) و عليه فإن المستوى المدخل 6 المقابل للقيمة

التراكمية 87000 نعطيها المستوى المخرج 5 و يصبح المستوى المخرج 4 بدون وحدات صورة . و كذلك

الحال بالنسبة للقيمة التراكمية 129 التي تقابل المستوى المدخل 7 فإنها تزيد على $7n_t$ (113750) و لذلك

يتحول هذا المستوى إلى المستوى 7 في المستويات المخرجة و يصبح المستوى 6 في المخرجات فارغاً أيضاً . و

تستمر العملية على هذا المنوال حتى نحول كل المستويات المدخلة إلى مستويات مخرجة .

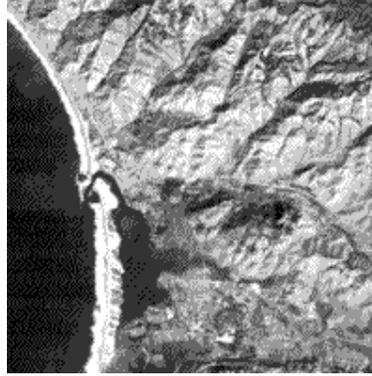
و فيما يلي عدد وحدات الصورة في كل مستوى من مستويات الأعداد الرقمية المخرجة:

المستوى	0	1	2	3	4	5	6	7
العدد	9000	23000	0	25000	0	30000	0	42000

المستوى	8	9	10	11	12	13	14	15
العدد	0	0	0	60000	0	0	50000	21000

و يلاحظ في البيانات المخرجة أن مستويات الأعداد الرقمية ذات التردد الأقل قد حصل لها دمج ، في حين أن المستويات ذات التكرار العالي تم تفريقها بصورة أكثر مما كانت عليه أولاً . إن تأثير هذه العملية هو زيادة التباين في وسط مدى الأعداد الرقمية و تقليله في الأطراف . و قد أظهر هذا المثال أن تسوية المدرج التكراري تؤدي إلى توزيع الأعداد الرقمية للبيانات المدخلة على كل المدى الذي يمكن مشاهدته ، و للحصول على المدرج التكراري المتساوي فإن عدد المستويات الذي استخدم فعلاً قد قل عن عدد المستويات المدخلة . و ظهر أن تمديد التباين يكون أكبر في المناطق التي فيها أكبر عدد من وحدات الصورة .

و يوضح الشكل 7.5 الصورة من الشكل 4.5 بعد إجراء مد التباين المتساوي ، ونلاحظ هنا كيف أن الصورة باتت تظهر معلومات أكثر وضوحاً حتى للناظر بالعين المجردة .



الشكل 7.5: الصورة بعد إجراء مد التباين المتساوي

2.3.5 تمديد التباين باستخدام دوال لاخطية Contrast stretching with nonlinear functions

إن من تقنيات تمديد التباين اللاخطية و التي تستخدم في تمديد التباين في جزء من المخطط التكراري أكثر من أجزاء أخرى هي دالة قوى العدد الرقمي المدخل DN_i^n (حيث n قوى 2,3,4) ، و هنا نستخدم العلاقة التالية لتمديد التباين:

$$DN_o = DN_i^n \quad (5.5)$$

ف عند تطبيق هذه الدالة على مجموعات الأعداد الرقمية المدخلة في المدى من 5 إلى 15 و مقارنة ذلك بتطبيقها على المدى من 240 إلى 250 نجد اختلافا كبيرا في التأثير على التباين في الفترتين . دعنا نستخدم القوى 2 للأعداد الرقمية على سبيل المثال DN^2 و نطبقها على مدى الأعداد الرقمية الصغرى ثم على الأعداد الرقمية الكبرى ، النتيجة موضحة في الجدول 3.5 أدناه :

الجدول 3.5: تأثير دالة مربع العدد الرقمي

الأعداد الرقمية المدخلة DN_i	الأعداد الرقمية المخرجة $DN_o = DN_i^2$
5	25
15	225
	الفرق = 200
240	5.76×10^4
250	6.25×10^4
	الفرق = 0.49×10^4

و يظهر من الجدول أن دالة مربع العدد الرقمي يكون تأثيرها كبيرا جداً على التباين في الأعداد الرقمية الكبيرة مقارنة بالتأثير على الأعداد الرقمية الصغيرة . و لذلك فهي تستخدم في تمديد التباين في المناطق الأكثر نضاعة في الصورة .

و دالة أخرى يكون تأثيرها عكس دالة قوى العدد الرقمي هي دالة لوغاريتم العدد الرقمي المدخل

$$DN_o = \log DN_i \quad (6.5)$$

أما تأثير هذه الدالة فيكون أكبر على الأعداد الرقمية الصغيرة مقارنة بتأثيرها على الأعداد الرقمية الكبيرة ، و يوضح ذلك أيضا بتطبيق هذه الدالة على الفترتين اللتين طبقنا عليهما دالة مربع العدد الرقمي أعلاه ، و تظهر النتائج في الجدول 4.5 .

الجدول 4.5 : تمديد التباين باستخدام الدالة اللوغاريتمية

الأعداد الرقمية المدخلة DN_i	الأعداد الرقمية المخرجة $DN_o = \text{Log } DN_i$
5	70
15	118
	الفرق = 48
240	238
250	240
	الفرق = 2

و يظهر من الجدول 4.5 أن تأثير دالة اللوغاريتم يكون أكبر على الأعداد الرقمية الصغيرة ، و عليه فإن استخدامها في تمديد التباين للمناطق القاتمة السوداء يكون أكثر كفاءة .

ويفضل استخدام دالة مربع العدد الرقمي أو دالة اللوغاريتم لعملية مد التباين للصورة الرقمية ذات المدرج التكراري ثنائي الوسط (bimodal) حيث توجد مجموعة كبيرة من وحدات الصورة لها أعداد رقمية صغيرة و مجموعة كبيرة أخرى لها أعداد رقمية كبيرة ، و بالتالي يكون لكل مجموعة وسط في المدرج التكراري ، حينئذ يتم تمديد التباين لمجموعة الأعداد الرقمية الأولى باستخدام دالة اللوغاريتم و للمجموعة الثانية باستخدام دالة التربيع .

3.3.5 تمديد التباين باستخدام التوزيع الطبيعي (الانتظامي) Normal distribution

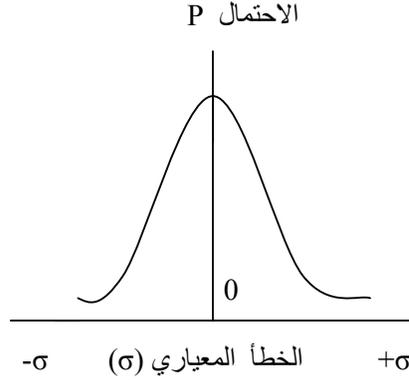
تعتمد هذه الطريقة على تحويل المخطط التكراري ليكون موافقاً لمنحنى التوزيع الطبيعي و المعروف بتوزيع قاولس (Gauss Distribution) و الذي يمثل رياضياً بالمعادلة التالية:

$$f(x) = C e^{-ax^2} \quad (7.5)$$

حيث أن $C = (a/\pi)^{0.5}$ و $a = 0.5 * (1/\sigma^2)$ ، و حيث أن الانحراف المعياري σ يعرف في مدى المتغير x و الذي تنقص دالته $f(x)$ بمعامل $e^{-0.5}$ أو 0.607 من قيمتها القصوى ، و تساوي $1/(2a)^{0.5}$ ، و عليه فإن 60.7% من قيم متغير التوزيع الطبيعي تقع داخل انحراف معياري واحد للمتوسط .

إن القيم المعيارية للتوزيع الطبيعي يمكن الحصول عليها من الجداول الإحصائية الملحقة بكتب الإحصاء ، كما أنه يمكن حسابها باستخدام معادلات خاصة .

من المعلوم أن المنحنى الطبيعي يأخذ شكل الناقوس (bell shape) ، و فيه تنقص قيمة الاحتمالية كلما بعدنا من الوسط بطريقة منتظمة و متواصلة كما هو واضح في الشكل 8.5 أدناه .



الشكل 8.5: منحنى التوزيع الطبيعي

مثال تطبيقي:

يوضح الجدول 5.5 تطبيق تمديد التباين بطريقة التوزيع الطبيعي ، و نبدأ باستخدام بيانات المخطط التكراري التي استخدمت في المثال السابق . و يظهر في هذا الجدول قيم مدى الانحراف المعياري المستخدمة من $\pm 3 \sigma$ من المتوسط . كالمثال السابق أيضا نستخدم 16 مستوى للأعداد الرقمية في الصورة . يوضح العمود الأول مستويات الأعداد الرقمية المدخلة (DN_i) و العمود الثاني يمثل عدد وحدات الصورة المدخلة في كل مستوى (n_i) و ذلك من المخطط التكراري للقيم المدخلة . العمود الثالث هو عبارة عن الأعداد التراكمية لوحدات الصورة المدخلة ($\sum DN_i$) . العمود الرابع يمثل مدى الانحرافات المعيارية من متوسط التوزيع

الطبيعي (σ) و العمود الخامس يمثل احتمالية كل مستوى من التوزيع الطبيعي (p) و يعرف من الجداول الإحصائية . و العمود السادس يمثل عدد وحدات الصورة المطلوبة في كل مستوى (n_t) و في العمود السابع المجموع التراكمي لوحدات الصورة المطلوبة ($\sum n_t$) . أما العمود الأخير و هو الثامن فيمثل المستوى للأعداد الرقمية لوحدات الصورة المخرجة أو الناتجة بعد تمديد التباين بالتوزيع الطبيعي .

من هذا الجدول نجد أن القيمة التراكمية لعدد وحدات الصورة المدخلة من المستوى 0 هي 1500 و أن أول قيمة تزيد عليها في العمود السابع هي 3780 التي تقابل المستوى 2 و لذلك فإن المستوى المدخل 0 يصبح المستوى 2 في المخرجات (العمود الأخير) ، ثم نرجع للعمود 3 لنجد أن القيمة المقابلة للمستوى 1 هي 4000 و في العمود السابع أول قيمة تزيد عليها هي القيمة 9505 التي تقابل المستوى 3 لذلك فإن المستوى المدخل 1 يصبح في المستوى المخرج 3 و نستمر على هذا النحو حتى نكمل الجدول .

جدول 5.5: مثال تطبيقي لتمديد التباين باستخدام التوزيع الطبيعي

DN _o	$\sum n_t$	n_t	P	σ	$\sum DN_i$	n_i	DN _i
2	525	525	0.0020	-3	1500	1500	0
2	1385	860	0.0033	-2.6	4000	2500	1
3	3780	2395	0.0092	-2.2	9000	5000	2
4	9505	5725	0.0220	-1.8	19000	10000	3
5	21155	11650	0.0448	-1.4	32000	13000	4
6	41410	20255	0.0779	-1.0	57000	25000	5
7	71470	30060	0.1156	-0.6	87000	30000	6
8	109565	38095	0.1465	-0.2	129000	42000	7
10	150780	41215	0.1585	0.2	189000	60000	8
11	188870	38090	0.1465	0.6	239000	50000	9
12	218930	30060	0.1156	1.0	249000	10000	10
13	239190	20260	0.0779	1.4	253000	4000	11
14	250840	11650	0.0448	1.8	257000	4000	12
15	256565	5725	0.0220	2.2	260000	3000	13
15	258960	2395	0.0092	2.6	260000	0	14
15	260000	1040	0.0040	3.0	260000	0	15

4.5 التحسين بالألوان Color Enhancement

إن استخدام الألوان في عرض و تحسين الصور الرقمية يعتبر مفهوماً مهماً في معالجة الصور الرقمية ذات نطاقات الطيف المتعددة حتى يستطيع محلل الصور أن يستنبط منها معلومات أكثر عند النظر إليها لتفسيرها وتصنيفها . إن العين البشرية محدودة القدرة في تمييز درجات الرمادية (تستطيع العين البشرية أن تميز حوالي مائتين درجة فقط من درجات اللون الرمادي الذي يتدرج من الأبيض إلى الأسود) و لكنها تتمتع بقدرة عالية في تمييز الألوان (تستطيع العين أن تميز ما يربو على الألفين من درجات الألوان الطبيعية) . إن كل النظم المستخدمة لعرض الصور الرقمية تستخدم نظام إضافة الألوان المركبة (additive colors) باستخدام الثلاث ألوان الرئيسية (الأحمر R و الأخضر G و الأزرق B) .

و في مجال الاستشعار عن بعد تستطيع المستشعرات أن تتحسس أجزاء من الطيف لا يمكن للعين المجردة أن تتحسسها مثل الأشعة فوق الحمراء (Infra Red) . و حتى تستطيع العين البشرية أن تدرك ما تمثله هذه الحزم الطيفية لا بد من مزج أزواج من ألوان العرض الرئيسية (أحمر ، أخضر ، أزرق) مع الحزم الطيفية في نظام الإبصار حتى تتكون نتيجة ذلك صور ملونة .

إن من تقنيات تحسين الصورة لتسهيل قراءتها و تفسيرها أن نجعل أعداداً رقمية (DN) معينة تمثل ألواناً معينة ، و بالتالي يزداد التباين لقيم معينة من الأعداد الرقمية بالنسبة لوحداث الصورة التي حولها . إن الصورة بكاملها يمكن تحويلها من أبيض و أسود إلى صورة ملونة . و الصورة الملونة بالألوان الطبيعية هي تلك التي تكون الألوان فيها ممثلة للأعداد الرقمية في مجال الطيف الذي يعطي هذه الألوان بحقيقتها (بحيث تظهر الأجسام الزرقاء باللون الأزرق و الأجسام الخضراء باللون الأخضر و الأجسام الحمراء باللون الأحمر في الصورة) . يوضح الشكل 9.5 صورة بالألوان الطبيعية من القمر الصناعي لاندسات 7 [24] ، و تظهر في الصورة الأجسام التي تعكس أشعة الطيف الحمراء من مجال الطيف المرئي باللون الأحمر كما يراها الرائي حقيقة و كذلك الحال بالنسبة للأجسام التي تعكس أشعة الطيف الخضراء و الزرقاء تظهر على التوالي في الصورة باللون الأخضر و اللون الأزرق . و نتيجة لذلك تصبح الصورة تمثيلاً أقرب لحقيقة سطح الأرض كما يراها الناظر عياناً .

أما تقنية الألوان غير الحقيقية (الزائفة false) فتعتمد على وضع ألوان للأعداد الرقمية تختلف عما تمثله حقيقة من انعكاس طيفي من سطح الأرض كما يراها الناظر . من مميزات هذه التقنية أنها تساعد في التركيز

على ظواهر أرضية معينة أثناء عملية تفسير الصورة ، و ذلك بإبراز هذه الظواهر في الصورة بألوان أكثر ظهوراً . و على سبيل المثال فإن صورة القمر الصناعي لاندسات 7 في الشكل 10.5 تم تحسينها بحيث يكون اللون الأحمر ممثلاً للأشعة تحت الحمراء المنعكسة من الغطاء النباتي و لذلك تظهر النباتات الأكثر حيوية فاقعة الحمرة فيسهل تصنيفها بالعين المجردة .



الشكل 9.5: صورة بالألوان الطبيعية من القمر الصناعي لاندسات 7 [24]



الشكل 10.5: صورة الشكل 9.5 بالألوان غير الطبيعية [24]

مثال آخر: الصورة في الشكل 11.5 هي صورة بالألوان الطبيعية لجزء من مدينة واشنطن أخذت بالماسح المشطي من القمر لاندسات 7 [12] و قد تم استخدام مرشحات الألوان لعرض حزمة الطيف (3)

باللون الأحمر و الطيف (2) باللون الأخضر و الطيف (1) باللون الأزرق ، و بعد تغيير الألوان إلى ألوان غير الطبيعية (زائفة) بجعل الحزمة الطيفية (2) تمثل اللون الأزرق و الحزمة الطيفية (3) تمثل اللون الأخضر و الحزمة الطيفية (4) تمثل اللون الأحمر يكون الناتج صورة بالألوان الزائفة كما في الشكل 12.5 . لاحظ سهولة تمييز المناطق الزراعية في هذه الصورة مقارنة بسابقتها بالألوان الطبيعية .



الشكل 11.5: صورة بالألوان الطبيعية من القمر لاندسات بالماسح الموضوعي TM [12]



الشكل 12.5: الصورة في الشكل 11.5 بالألوان غير الطبيعية [12]

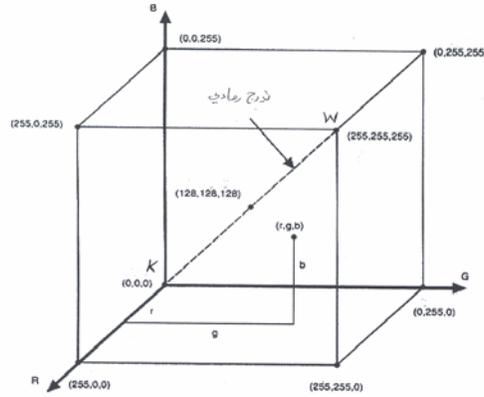
و كما ذكرنا سالفًا فإن تحسين الصورة لتسهيل تفسيرها يمكن أن يتم من خلال زيادة التدرج الرمادي و هو ما عبرنا عنه بتمديد التباين و قد تم توضيحه في الفقرات السابقة في هذا الباب ، أو من خلال تحويل التدرج الرمادي إلى التمثيل اللوني سواء كانت الألوان طبيعية أو غير طبيعية و فيما يلي تفصيل لهذه العملية .

في هذه المعالجة الرقمية يتم تحويل التدرج الرمادي للصورة (أبيض/أسود) إلى تدرج ألوان يتشكل من الألوان الأساسية: أحمر و أزرق و أخضر (Red, Blue, Green) ، و يطلق عليه "نموذج الألوان" . إن نموذج الألوان هو عبارة عن وسيلة لتحديد الألوان بالنسبة إلى نظام إحداثيات ثلاثي الأبعاد أو فضاء يحتوي على كل الألوان التي يمكن تشكيلها داخل النموذج ، إن أي لون يمكن تحديده باستخدام النموذج اللوني تمثله نقطة واحدة داخل الفضاء المعرف بهذا اللون . و هنالك عدد من نظم التمثيل اللوني أو نماذج الألوان المستخدمة ، يكون كل نموذج منها موجه إما إلى نظام آلي معين (مثل نموذج الألوان أحمر- أخضر- أزرق RGB) أو إلى تطبيق في معالجة الصور الرقمية (مثل نموذج : اللون - التشبع - شدة الإضاءة HSI) . و فيما يلي سنقوم بشرح لكل من هذين النموذجين .

1.4.5 نموذج الألوان أحمر- أخضر- أزرق RGB Model

يتكون هذا النموذج من الألوان الثلاثة الأساسية (الأحمر Red و الأخضر Green و الأزرق Blue) و يرمز لها ب R G B ، و كل الألوان الأخرى تنتج بمزج هذه الألوان الثلاثة مع بعضها البعض بنسب متفاوتة . هذا النموذج يمكن تمثيله بشكل مكعب كما في الشكل 13.5 . يمثل الركن K اللون الأسود (Black) نقطة الأصل لنظام الإحداثيات و إحداثياته (0,0,0)، و الأركان الثلاثة غير المتجاورة في هذا المكعب تمثل الألوان الرئيسية : أحمر (R) و إحداثياته (255,0,0) و أخضر (G) و إحداثياته (0,255,0) و أزرق (B) و إحداثياته (0,0,255) و عليه يكون الخط KR هو المحور أسود-أحمر ، و الخط KG هو المحور أسود-أخضر ، و الخط KB هو المحور أسود-أزرق . إن أي لون يمكن تمثيله على حسب موقعه في نظام الإحداثيات (R, G, B) . و يمكن ملاحظة أن اللون الأبيض (White, W) يمكن تكوينه بجمع أو مزج القيم القصوى للألوان الرئيسية الثلاثة ، و تكون إحداثياته في هذا النظام هي (255,255,255) .

و يمثل الخط الواصل بين الأسود و الأبيض (K-W) الألوان التي يتم تكوينها بدمج قيم متساوية للألوان الرئيسية الثلاثة و التي تمثل التدرج الرمادي .



الشكل 5. 13: نموذج الألوان RGB

إن نموذج إحداثيات RGB يساعد كثيراً في تصميم نظم التخطيط للحاسوب ولكنه ليس الأمثل في كل التطبيقات إذ أن عناصر الألوان الرئيسية الثلاثة الأحمر والأخضر والأزرق لها ارتباط وثيق في ما بينها مما يجعل هنالك صعوبة في تطبيق بعض التقنيات في معالجة الصور الرقمية. ومن النماذج التي يمكن استخدامها في معالجة الصور الرقمية النموذج التالي.

2.4.5 نموذج تدرج اللون والتشبع وشدة الإشعاع Hue, Saturation, Intensity

(HSI) Model

إن وصف اللون يمكن أن يتم باستخدام ثلاثة عناصر هي:

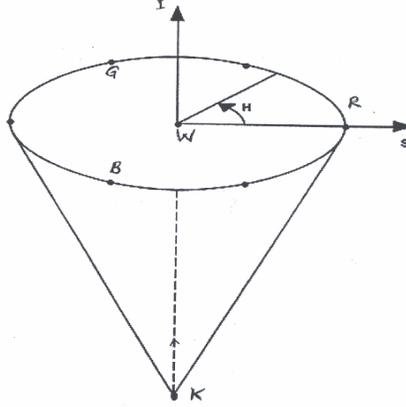
- أ- تدرج اللون (Hue, H): و يحدده طول الموجة الغالب على الأشعة التي عندما تسقط على الجسم و تنعكس إلى العين يدرك البصر البشري ذلك اللون. إن الألوان المرئية بالعين المجردة من مجال الطيف الكهرومغناطيسي يمتد طول الموجة فيها من 400 نانوميتر إلى 700 نانوميتر (واحد نانوميتر يعادل واحد من المليون من المليميتر)

ب- **التشبع (Saturation, S):** و يحدده مدى صفاء اللون ، و يعتمد ذلك على كمية الضوء الأبيض التي تمتزج مع اللون الأساسي: فاللون الصافي الذي لا يمتزج باللون الأبيض يكون ذا درجة تشبع عالية . إن درجة صفاء اللون أو درجة التشبع تحدد اللون نفسه .

ت- **شدة الإضاءة (Intensity, I):** أو شدة الإشعاع و تحدها كمية الضوء ، فكلما زادت كمية الضوء أو شدته زادت بذلك شدة اللون . إن درجة الرمادية (Grey level) هي عبارة عن مقياس لشدة الضوء ، و يتم معرفة شدة اللون بالتعرف على كمية الطاقة المستخدمة .

و عليه فقد تم تصميم نموذج للألوان تشكل عناصره الثلاثة: اللون والتشبع و شدة الإضاءة (HSI) ، و يتميز هذا النموذج بأن محاور نظام إحداثياته ليست متعامدة كما في نظم الإحداثيات المعروفة و من بينها النظام الذي تحدثنا عنه آنفا (RGB) ، و من مميزات هذا النموذج أنه يبرز الألوان في شكل يكون أقرب لطبيعة رؤية و استيعاب الإنسان لها .

إن هذا النظام يمكن تمثيله بشكل مخروطي (أنظر الشكل 14.5) يمثل محوره المركزي شدة الإشعاع (I) حيث أن أقل شدة إشعاع تكون عند رأس المخروط (K) بدءاً بالرقم 0 و هو اللون الأسود في التدرج الرمادي . و تمثل الزيادة في شدة الإشعاع بالتدرج على طول المحور بعيداً عن رأس المخروط حتى تصل الدرجة 255 على مركز قاعدة المخروط (W) و التي تمثل اللون الأبيض . يمثل هذا الخط أو المحور درجة الرمادية و لا علاقة له بأي لون . أما العنصر الثاني و هو التدرج في اللون (H) فيمكن تحديده بالموقع على محيط دائرة قاعدة المخروط . و يبدأ تدرج اللون من 0 في منتصف اللون الأحمر (R) و يزيد في اتجاه عكس اتجاه عقارب الساعة حول محيط الدائرة بالتدرج ماراً باللون الأخضر (G) عند القيمة 85 ثم اللون الأزرق (B) عند القيمة 170 إلى أن يصل الرقم 255 المطابق للرقم 0 عائداً مرة أخرى إلى اللون الأحمر . أما التشبع (S) (و هو يمثل درجة صفاء اللون) فيمثله نصف قطر الدائرة مبتدئاً بالرقم 0 عند المركز و يعني أن اللون غير صاف حيث أن كل الموجات ذات الأطوال المختلفة ممثلة بالتساوي عند هذه النقطة ، و يتدرج صفاء اللون من 0 على طول نصف قطر الكرة إلى 255 عند محيطها . و قد تم استخدام التدرج من 0 إلى 255 ليكون هنالك توافق مع تدرج الأعداد الرقمية للصورة .



الشكل 14.5: نظام تدرج اللون و التشبع و شدة الإشعاع HSI

إن من مميزات هذا النظام هو أنه يعتمد الظواهر التي يرغب محلل البيانات التركيز على دراستها . و بالإمكان إجراء عملية التمديد لخاصية التشبع مما يؤدي إلى إنتاج صورة أكثر ألواناً ، و بالتالي أكثر معلومات مما يزيد من دقة تفسير و تصنيف الصورة . و في العديد من حالات معالجة الصور الرقمية تظهر الحاجة لتحويل الصورة الملونة من نظام RGB إلى التدرج الرمادي . و على سبيل المثال لاستخدام النموذج HIS في تحسين الصورة لا بد من تحويل الصورة من النموذج RGB إلى النموذج HSI ثم إجراء معالجة التحسين في هذا النظام ثم التحويل مرة أخرى من نظام HSI إلى نموذج RGB لعرض الصورة بالألوان .

3.4.5 التحويل بين النظامين

أ - التحويل من RGB إلى HSI

لإجراء التحويل من نظام RGB إلى نظام HSI نقوم باستخدام وحدة القياس الرقمي من 0 إلى 1 بالنسبة إلى المحاور الثلاثة في النظام RGB بدلاً من 0 إلى 255 . و في نظام HSI أيضاً نستخدم وحدة القياس من 0 إلى 1 بالنسبة إلى عنصري التشبع S و شدة الإشعاع I ، و نستخدم القياس الدائري من 0° إلى 360° لتدرج اللون H .

إن تعريف شدة الإضاءة I هو متوسط كميات الألوان الثلاثة R و G و B ، و عليه يمكن حسابها من

المعادلة:

$$I = (1/3) (R + G + B) \quad (8.5)$$

أما التشبع S فيحسب من المعادلة:

$$S = 1 - [\min(R,G,B) / I] \quad (9.5)$$

$$= 1 - \{ 3 * [\min(R,G,B)] / (R+G+B) \}$$

و حيث أن القيمة $\min(R,G,B)$ تعبر عن كمية الضوء الأبيض فإذا كانت قيمة أي من الألوان الثلاثة

R, G, B تساوي 0 ينتفي وجود اللون الأبيض و يكون اللون صافياً .

و يحسب اللون H من المعادلة:

$$H = \cos^{-1} (q / p) \quad (10.5)$$

$$q = 0.5 * [(R-G) + (R-B)] \quad \text{حيث أن}$$

$$p = [(R-G)^2 + (R-B) * (G-B)]^{1/2} \quad \text{و}$$

و إذا كانت $G < B$ تعدل H لتأخذ الشكل التالي:

$$H' = 360^\circ - H \quad (11.5)$$

ب - التحويل من HSI إلى RGB :

تعتمد عملية هذا التحويل على قطاع الدائرة الذي تقع فيه قيمة H التي تعبر عن اللون:

في حالة وقوع H بين 0° و 120° (أي فيما بين اللونين الأحمر و الأخضر R و G) فتحسب قيم R و G و

B المحولة و التي نعبر عنها ب r و g و b على التوالي كما يلي:

$$r = (1/3) * \{ 1 + S * \cos (H) / \cos (60^\circ - H) \} \quad (12.5)$$

$$b = (1/3) * (1 - S) \quad (13.5)$$

$$g = 1 - (r + b) \quad (14.5)$$

و عندما تكون قيمة H في القطاع $(120^\circ - 240^\circ)$ أخضر - أزرق G-B تحول قيمة H أولاً كالتالي:-

$$H' = H - 120^\circ \quad (15.5)$$

ثم تحسب قيم الألوان الثلاثة

$$r = (1/3) * (1 - S) \quad (16.5)$$

$$g = (1/3) * \{ 1 + S * \cos (H) / \cos (60^\circ - H) \} \quad (17.5)$$

$$b = 1 - (r + g) \quad (18.5)$$

و إذا كانت قيمة H في القطاع الأخير: أزرق – أحمر B – R بحيث تكون $240^{\circ} \leq H \leq 360^{\circ}$

فحول قيمة H لتكزن $H - 240^{\circ}$ ، فنحسب قيم الألوان بالتحويل التالي:

$$r = (1/3) * (1 - S) \quad (19.5)$$

$$g = (1/3) * \{ 1 + S * \cos (H) / \cos (60^{\circ} - H) \} \quad (20.5)$$

$$b = 1 - (r + g) \quad (21.5)$$

ثم إن القيم r و g و b يمكن إرجاعها إلى الألوان الرئيسية R و G و B كالتالي:

$$R = 31 * r , \quad G = 31 * g , \quad B = 31 * b \quad (22.5)$$

مع ملاحظة أنه ينبغي أن تكون قيم H بالنظام الدائري الستيني .

5.5 تجزئة الكثافة Density Slicing

و هي عبارة عن عملية إجراء تجزئة للصورة الرقمية إلى أجزاء يتكون كل جزء منها من وحدات صورة لها أعداد رقمية ذات حد أدنى و حد أعلى . فإذا كانت بيانات الأعداد الرقمية للصورة تمتد من 0 إلى 255 فنقوم بتقسيم هذه الأعداد الرقمية إلى أجزاء . على سبيل المثال الأعداد الرقمية بين 0 و 20 نعتبرها الجزء الأول و يكون العدد الرقمي الممثل لها هو العدد 0 ، ثم الأعداد الرقمية من 21 إلى 40 نعتبر الجزء الثاني و تمثل بالعدد 2 ، و هكذا إلى الجزء الأخير و الذي يكون الحد الأعلى له هو العدد الرقمي 255 و يمثله العدد n-1 إذا اعتبرنا أن عدد الأجزاء هو n. ثم من بعد ذلك نقوم بإعطاء كل جزء من هذه الأجزاء لوناً معيناً يتكون بطبيعة الحال من نسب معينة لكل لون من الألوان الرئيسية الثلاثة . إن سلبية هذه التقنية هي ضياع بعض التفاصيل إذ أن التدرج المستمر من 0 إلى 255 الذي كانت عليه البيانات الأصل يصبح متقطعاً أو متجزئاً إلى أجزاء تفقد الاستمرارية ، إلا أن هذه العملية يمكن أن تستخدم في تخفيض الضجيج إضافة إلى تبسيط عملية المعالجة و التصنيف و إجراء كل منهما في وقت أقصر نسبياً .

و يمكن تصنيف تجزئة الكثافة أو الصورة إلى صنفين ، هما: 1- التجزئة العامة و 2- التجزئة متعددة

الحدود . و فيما يلي شرح مبسط مع مثال لكل منهما [25]:

1- التجزئة العامة : و فيها تقسم الصورة الرقمية إلى قسمين فقط . فإذا اعتبرنا الحد الرقمي الفاصل

بين القسمين في هذه الصورة هو T (و يختار من ملاحظة المخطط التكراري للصورة) فإن العدد الرقمي

$I(i,j)$ لوحدة الصورة j في الصف i يأخذ العدد الرقمي 0 إذا كان رقمها العددي أقل من T و يأخذ العدد الرقمي 1 إذا كان عددها الرقمي يساوي أو يزيد على T . و يصير العدد الرقمي الجديد لها $I_0(i,j)$ بعد التقسيم كما يلي:

$$I_0(i,j) = \begin{cases} 0 & I(i,j) < T \\ 1 & I(i,j) \geq T \end{cases} \quad (23.5)$$

إذا افترضنا أن لدينا صورة رقمية مكونة من 4 صفوف و 4 أعمدة بياناتها كما في الشكل 15.5 أدناه ، و أردنا تجزئة بيانات الصورة تجزئة عامة بحيث يكون الحد الفاصل هو العدد الرقمي 5 فإن الصورة بعد التجزئة تكون على ما هو في الشكل 16.5 :

3	3	5	6
2	5	4	7
1	2	8	9
2	1	6	7

الشكل 15.5: صورة رقمية 4x4 قبل التجزئة

0	0	1	1
0	1	0	1
0	0	1	1
0	0	1	1

الشكل 16.5: الصورة الرقمية في الشكل 15.5 بعد التجزئة العامة

2- التجزئة متعددة الحدود: و في هذه الحالة يتم تقسيم الصورة إلى عدد n من الأجزاء لكل جزء منها

حد أدنى و حد أعلى للأعداد الرقمية ، فوحدات الصورة ذات الأعداد الرقمية بين 0 و الحد الأول T_1 يرمز لها بالعدد الرقمي 0 و وحدات الصورة ذات العدد الرقمي الذي يكون أكبر من T_1 و يساوي أو يقل عن الحد T_2 يرمز لها بالعدد الرقمي 1 و وحدات الصورة ذات الأعداد الرقمية التي تكون أكبر من T_2 و تساوي أو تقل عن الحد T_3 يرمز لها بالعدد الرقمي 2 و تستمر التجزئة على هذا النحو حتى وحدات الصورة التي يكون عددها الرقمي أكبر من الحد T_{n-1} (و هو الحد قبل الأخير) و يساوي أو يقل عن N (أكبر عدد رقمي في الصورة) فيرمز لها بالعدد n و هو الرمز العددي الأخير ، و يمكن توضيح ذلك رياضيا كما يلي:

$$I_0(i,j) = \begin{cases} 0 & I(i,j) \leq T_1 \\ 1 & T_1 < I(i,j) \leq T_2 \\ 2 & T_2 < I(i,j) \leq T_3 \\ \vdots & \vdots \\ n & T_{n-1} < I(i,j) \leq N \end{cases} \quad (24.5)$$

و لتطبيق تجزئة الحدود المتعددة على بيانات الصورة الرقمية في الشكل 15.5 نفترض أن الحدود

المطلوبة للتجزئة هي: $T_1 = 3$ ، $T_2 = 5$ ، $T_3 = 7$ ، $T_4 = 9$ فإن الصورة الرقمية بعد إجراء

التجزئة متعددة الحدود تظهر كما في الشكل 17.5 .

0	0	1	2
0	1	1	2
0	0	3	3
0	0	2	2

الشكل 17.5: الصورة الرقمية في الشكل 15.5 بعد إجراء التجزئة متعددة الحدود

و بالمقارنة بنتيجة التجزئة العامة حيث قسمت الصورة إلى منطقتين فقط نجد أنه في هذه الحالة قد تم تقسيم الصورة إلى أربعة أقسام . كل قسم منها يمثل أعداد رقمية متقاربة و يرمز له بأحد الأرقام من 0 إلى 3 .
 إن هذه التحسينات التي تم شرحها في هذا الباب قد شملت معالجة لوحدة الصورة على إنفراد . أما في
 البابين القادمين فسيتم معالجة الصورة باستخدام وحدات من أكثر من حزمة طيفية .

6.5 تمارين

1.6.5 يمثل الشكل التالي بيانات صورة رقمية 3×5 تتراوح فيها الأعداد الرقمية بين 10 و 90 و المطلوب إجراء تمديد التباين الخطي للصورة حتى تصير الأعداد الرقمية بين 0 و 255 .

70	90	80	60	50
60	40	50	30	60
10	70	90	20	30

2.6.5 إذا كانت أدنى قيمة لرقم عددي في صورة رقمية هي 50 و أعلى رقم عددي فيها هو DN_{max} . و بعد إجراء تمديد التباين الخطي لهذه الصورة أصبح العدد الرقمي الأدنى فيها هو 0 و العدد الرقمي الأعلى هو 250 فإذا كانت وحدة الصورة التي تحمل العدد الرقمي 70 قبل إجراء تمديد التباين صارت تحمل العدد الرقمي 65 بعد تمديد التباين للصورة كم يكون العدد الرقمي DN_{max} ؟

3.6.5 وضح الفرق بين نموذج اللون RGB و نموذج اللون HIS .

4.6.5 يبين الشكل أدناه بيانات صورة رقمية 4×4 استخدم العدد الرقمي 7 ليكون الحد الفاصل لتجزئة الصورة تجزئة عامة .

7	4	5	8
8	2	4	9
6	9	9	8
3	4	8	9

5.6.5 استخدم الحدود التالية لتجزئة الصورة الرقمية في السؤال السابق 4.6.5 :

$$T_3 = 9 \quad , \quad T_2 = 6 \quad , \quad T_1 = 4$$

ترشيح الصور الرقمية

Image Filtering

1.6 مقدمة

في حين أن التحسين الإشعاعي للصورة الرقمية و الذي شرحناه في الباب السابق يتم لكل وحدة من وحدات الصورة منفردة فإن عمليات الترشيح أو التصفية (filtering) و التي تطبق على الرقم العددي لوحدة الصورة بناءً على الأعداد الرقمية لوحدة الصورة المجاورة تؤدي إلى ما يسمى التحسين المكاني (spatial enhancement) للصورة ، و لذلك فإن هذه التقنية أو العملية يطلق عليها أيضا الترشيح المكاني (spatial filtering) . إن التحسين المكاني يتعامل لحد كبير مع التردد المكاني (spatial frequency) و الذي يمثل الفرق بين القيم (الأعداد الرقمية) القصوى و الدنيا لمجموعة وحدات الصورة المجاورة لوحدة الصورة تحت المعالجة . و قد اعتمد جنسن Jensen [6] التعريف التالي للتردد المكاني " هو عدد التغيرات في الأعداد الرقمية (شدة الإضاءة) في وحدة مسافة لكل جزء معين من الصورة " . إن بيانات الصورة الرقمية قد تحتوي على بيانات عالية التردد المكاني (high spatial frequency) في جزء منها و على بيانات منخفضة التردد المكاني (low spatial frequency) في جزء آخر . إن البيانات منخفضة التردد المكاني تمثل تغيراً تدريجياً في الأعداد الرقمية على مساحة واسعة من الصورة أو على عدد كبير من وحدات الصورة ، و ذلك يعني تغيراً تدريجياً في شدة الإضاءة و يحدث ذلك في مناطق مثل الكتل المائية و الحقول الزراعية الواسعة . و يطلق عليها المناطق الناعمة (smooth) . و بالمقابل فإن البيانات عالية التردد المكاني تمثل تغيراً سريعاً في الأعداد الرقمية في مساحة صغيرة من الصورة ، بمعنى أنها تمثل تحولاً كبيراً في التدرج الرمادي للصورة كما في حالات الطرق و شبكات الصرف و الأنهار و حدود الحقول الزراعية ، و يطلق عليها المناطق الخشنة (coarse) . و يمكن توضيح اختلافات التردد المكاني على النحو التالي:

- **تردد مكاني معدوم:** يعني صورة منبسطة تتسم بأن كل وحدات الصورة فيها تحمل نفس العدد الرقمي .
- **تردد مكاني منخفض:** يعني صورة تتسم بتغير تدريجي ناعم في المستوى الرمادي لوحدة الصورة .
- **تردد مكاني عالي:** يعني صورة رقمية تحتوي على وحدات صورة بيضاء و سوداء .

و قد صممت مرشحات لإبراز المعالم منخفضة التردد المكاني و أخرى لإبراز المعالم عالية التردد المكاني . و سنبدأ أولاً بتعريف لمرشح الصورة الرقمية .

2.6 مرشح الصورة الرقمية

يمكن تعريف المرشح أو المصفاة (filter) بأنه مصفوفة أرقام تستخدم في عمليات حسابية بسيطة للحصول على صورة رقمية جديدة يتم فيها تغيير الأعداد الرقمية لوحدة الصورة الأصل . هذه المصفوفة يمكن أن تكون مربعة و هي الأكثر استعمالاً (3صفوف 3x3 أعمدة ، أو 5 صفوف 5x5 أعمدة) ، كما يمكن أن تكون مستطيلة يختلف فيها عدد الأعمدة عن عدد الصفوف بشرط أن يكون عدد كل منهما فردياً . و يتم تصميم أرقام المرشح من قبل محلل البيانات على الوجه الذي يقتضيه الاستفادة من المرشح .

و على سبيل المثال فإن الشكل 1.6 يبين مرشح 3x3 يطلق عليه مرشح الطي ، كل وحدة فيه تحمل الرقم 1 . و لمعالجة مصفوفة الصورة الرقمية التي تحتوي على 5x5 من وحدات الصورة على حسب ما هو موضح في الشكل 2.6 ، فإننا نضع المرشح على وحدات الصورة في الركن الأعلى في يسار المصفوفة و نوجد متوسط مجموع حاصل ضرب كل رقم من المرشح في الرقم المقابل له في مصفوفة وحدات الصورة . و يستبدل الناتج بالعدد الرقمي الذي كان في مركز المصفوفة المعالجة .

1	1	1
1	1	1
1	1	1

الشكل 1.6: مرشح الوزن المتساوي للصورة

18	20	17	19	18
20	24	19	22	14
23	32	29	27	19
21	36	30	28	16
20	34	28	26	18

الشكل 2.6: مصفوفة الصورة الرقمية تحت الترشيح

ففي هذا المثال نستبدل العدد الرقمي و هو في مركز الجزء من الصورة تحت المعالجة بنتائج العملية

التالية:

$$[(18 \times 1) + (20 \times 1) + (17 \times 1) + (20 \times 1) + (24 \times 1) + (19 \times 1) + (23 \times 1) + (32 \times 1) + (29 \times 1)] / 9 = 22$$

فنستبدل الرقم 24 بالرقم 22 . ثم نحرك المرشح في اتجاه اليمين بمقدار عمود واحد و نقوم بنفس العملية فنستبدل الرقم 19 بحاصل العملية المشابهة للعملية السابقة .

إن تطبيق المرشح 3x3 يؤدي إلى صورة يقل عدد صفوفها و عدد أعمدها عن الصورة الأصلية المدخلة بصفتين و عمودين ، و إذا استخدمنا مرشحات أكبر يكون الفاقد أكبر من ذلك . و لذلك فإن برامج الترشيح تصمم لإنتاج صورة رقمية لها نفس عدد الصفوف و الأعمدة كما للصورة المدخلة و يتم ذلك بمد حدود الصورة المدخلة في كل الاتجاهات بتكرير الصف الأول و الأخير و تكرير العمود الأول و الأخير حتى يتم تطبيق الترشيح على كل وحدات الصورة المدخلة فيكون الناتج صورة مخرجة لها نفس عدد الصفوف و الأعمدة .

و قد تم تصميم مرشحات عديدة لتحسين الوضوح المكاني في الصورة . و من بين هذه المرشحات مرشح الوزن المتساوي الذي يبناه في الشكل 1.6 أعلاه و الذي يحمل كل عنصر فيه الرقم 1 . إن تطبيق هذا المرشح يقلل من التغير في الأعداد الرقمية و يجعل الصورة أكثر نعومة و تصبح الظواهر الطولية كالطرق مثلا أقل بروزا في الصورة بعد الترشيح ، كما و أنه يخفف من الضجيج في الصورة . و سنقدم أمثلة لبعض المرشحات المستخدمة في التحسين المكاني للصورة .

3.6 مرشحات الانتقال العالي (HPF) High Pass Filters

و يطلق عليها مرشحات الانتقال أو المرور العالي لأنها تؤدي إلى إبراز الظواهر الحدودية (الطولية) كالطرق و الخطوط الحديدية و الأنهار و تسمى أيضا مرشحات تحسين الحواف (edge enhancement filters) لنفس السبب . و يتم إبراز هذه المعالم بزيادة التغير في درجة الرمادية بين وحدات الصورة المتجاورة و يكثر تطبيقها في التعرف على الظواهر الجيولوجية مثل الصدوع (faults) و الشقوق أو الكسور (fractures) الصخرية و تستخدم أيضا في تحديد مواقع التراكبات المعدنية (mineral deposits) .

و يوضح الشكل 3.6 الصورة التي استخدمت في الباب الخامس لتوضيح عملية تمديد التباين (الشكل 5.5) و قد أجريت لها عملية ترشيح الانتقال العالي بعد تمديد التباين فبرزت الطرق و الأنهار و الأجسام ذات الطابع الطولي بصورة واضحة .



الشكل 3.6: الصورة في الشكل (5.5) بعد ترشيح الانتقال العالي

و قد تم تصميم مرشحات انتقال عالي كثيرة . إن أحد أبسط هذه المرشحات هو الذي يكون فيه الرقم في مركز مصفوفة المرشح رقماً موجباً كبيراً محاطاً بأرقام سالبة صغيرة كما في الشكل 4.6 .

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

الشكل 4.6: مرشح انتقال عالي (high pass filter)

و توجد أيضاً مرشحات الاتجاه الواحد التي تستخدم في إظهار الخطوط في الاتجاهات الرأسية و الأفقية و المائلة . و على سبيل المثال فمرشح شمال - جنوب (الشكل 5.6) يستخدم لتوضيح المعالم الخطية التي تكون

في اتجاه متعامد مع اتجاه الشمال / جنوب ، وكذلك مرشح شمال – غرب (الشكل 6.6) لإظهار المعالم الخطية التي تكون مائلة بالنسبة لاتجاه الشمال ، أي في اتجاه الشمال الغربي .

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

الشكل 5.6: مرشح شمال – جنوب (NS)

0	0	1
0	0	0
-1	0	0

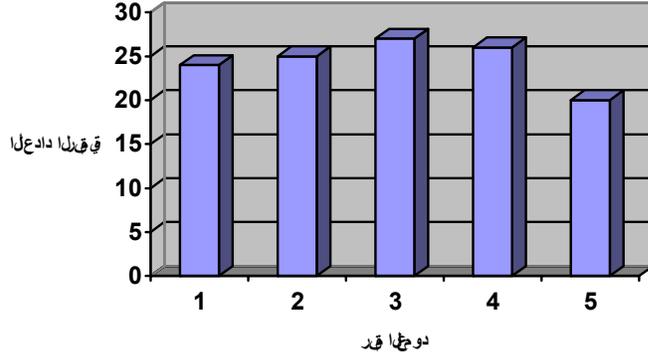
الشكل 6.6: مرشح شمال – غرب (NW)

و يمكن رسم قطاع عرضي أو طولي (أفقياً أو رأسياً) عبر الصورة الرقمية و يتم توقيع الأعداد الرقمية مقابل مواقع وحدات الصورة بعرض الصورة أو طولها لينتج من ذلك منحنى يتغير رأسياً حسب تغير الأعداد الرقمية . هذا القطاع يبين ما إذا كان هنالك انتقال عالي أو بطيء ، حتى تتم معالجته . و سنوضح ذلك بالمثل التالي:

يمثل الشكل (7.6) جزء من صورة رقمية يتكون من 5 أعمدة و 3 صفوف ، تم عمل قطاع عرضي للصف الثاني و رسم له مخطط تكراري ليوضح تغير الأعداد الرقمية في هذا الصف (الشكل 8.6) .

24	29	30	28	26
24	25	27	26	20
22	24	26	26	24

الشكل (7.6): صورة رقمية 5x3



الشكل (8.6): المخطط التكراري للصف الثاني للصورة في الشكل السابق

ثم من بعد ذلك تم استخدام مرشح انتقال عالي يمثله صف المصفوفة في الشكل (9.6) .

-1	3	-1
----	---	----

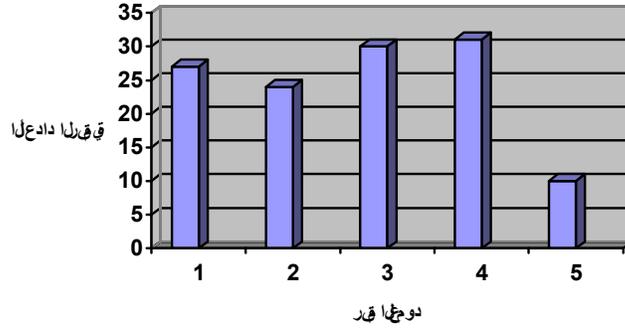
الشكل (9.6): صف لمرشح انتقال عالي HPF

و بتطبيق هذا المرشح على الصف الثاني من جزء الصورة في الشكل (7.6) نحصل على الصف الموضح في

الشكل (10.6) و المخطط التكراري في الشكل (11.6) .

27	24	30	31	10
----	----	----	----	----

الشكل (10.6): الصف الثاني من الصورة بعد إجراء ترشيح الانتقال العالي



الشكل (11.6): المخطط التكراري للصف الثاني

بعد إجراء ترشيح الانتقال العالي

ويظهر من مقارنة المدرجين التكراريين في الشكل (8.6) و الشكل (11.6) تأثير الترشيح عالي الانتقال في زيادة الفرق بين الأعداد الرقمية لوحدات الصورة المتجاورة .

4.6 مرشحات الانتقال المنخفض (LPF) Low Pass Filters

و في المقابل يمكن استخدام مرشحات الانتقال المنخفض LPF في أجزاء أخرى من الصورة يكون فيها التغير في الأعداد الرقمية لوحدات الصورة المتجاورة كبيراً ، و يمكن تخفيضه بمثل هذه المرشحات . و بالتالي فإن هذه المرشحات تساعد أيضا في إزالة الضجيج الذي ينتج من وجود عدد رقمي كبير جداً بالمقارنة بالأعداد الرقمية المجاورة له . و من هذه المرشحات مرشح الوزن المتساوي الذي قدمناه في الشكل (1.6) و الذي يكون كل عنصر فيه عبارة عن الرقم 1 .

و يمكن توضيح تطبيق مثل هذا المرشح على صف من الصورة الأصلية كما في الشكل (12.6):

22	24	70	25	20
----	----	----	----	----

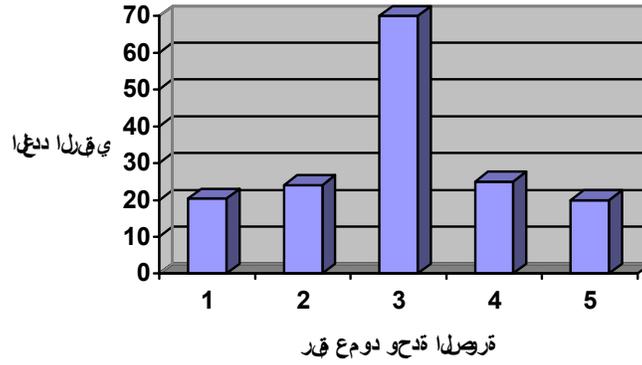
الشكل (12.6): الأعداد الرقمية لصف من خمس وحدات صورة

و بتطبيق صف المرشح الذي عناصره كلها 1 ، نحصل على الصف في الشكل (13.6):

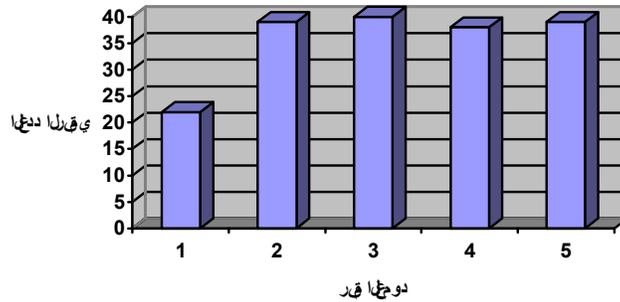
22	39	40	38	39
----	----	----	----	----

الشكل (13.6): الأعداد الرقمية لصف وحدات الصورة بعد إجراء ترشيح الانتقال المنخفض

و يظهر تأثير هذا الترشيح بمقارنة الفرق في الأعداد الرقمية بين كل وحدتين متجاورتين في حالة ما قبل الترشيح وما بعده و بالمقارنة أيضا بين المخطط التكراري لصف وحدات الصورة قبل الترشيح في الشكل (14.6) و بعد الترشيح في الشكل (15.6) ، نجد أن الفوارق بين الأعداد الرقمية قد قلت كثيرا بعد الترشيح .



الشكل (14.6): المخطط التكراري قبل الترشيح



الشكل (15.6): المخطط التكراري بعد ترشيح الانتقال المنخفض

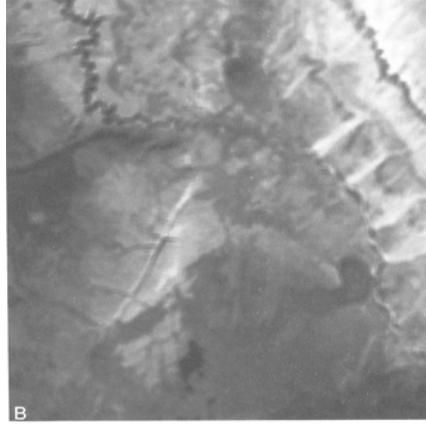
و يؤدي استخدام مثل هذا المرشح إلى إزالة التفاصيل الصغيرة من الصورة و إلى تغطية الحواف و الحدود فلا تظهر في الصورة (أنظر الشكل 16.6 – إذ تظهر الصورة السابقة بعد إجراء الترشيح المنخفض ، و كذلك الأشكال 17.6 إلى 19.6 و التي يوضح الشكل الأول منها صورة من الماسح متعدد الطيف MSS لقمر لاندسات 5 قبل إجراء الترشيح [12] ثم بعد إجراء الترشيح المنخفض و العالي في الصورتين التاليتين) .



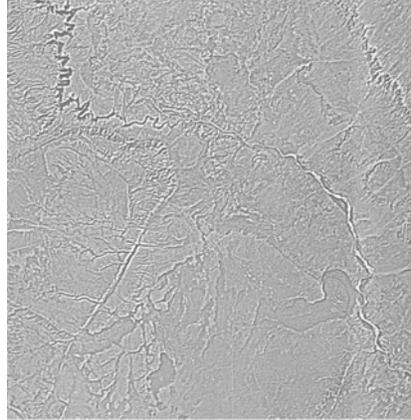
الشكل 16.6 الصورة بعد إجراء مرشح الانتقال المنخفض



الشكل 17.6: صورة من الماسح متعدد الأطياف قبل إجراء عملية الترشيح [12]



الشكل 18.6 الصورة الناتجة بعد إجراء الترشيح الانتقالي المنخفض LPF



الشكل 19.6 الصورة الناتجة بعد إجراء الترشيح الانتقالي العالي HPF

و إذا كان المطلوب هو إزالة الضجيج فقط و ليس عمل غشاء على الصورة فيمكن استخدام مرشح العدد الأوسط (median filter) ، حيث يتم استبدال العدد الرقمي لوحدة الصورة بالعدد الرقمي الوسطي لوحدة الصورة المجاورة . العدد الوسطي هو العدد الذي يكون عدد الأعداد الرقمية الأكبر منه مساويا لعدد الأعداد الرقمية الأصغر منه . و على سبيل المثال إذا استخدمنا مصفوفة 3×3 و هي مكونة من تسعة أعداد رقمية فبعد

ترتيبها تنازلياً أو تصاعدياً فإن العدد الرقمي الخامس تصاعدياً أو تنازلياً يكون هو العدد الرقمي الأوسط و يحل محل العدد الرقمي المعالج . إن الهدف الأساسي لاستخدام مرشح العدد الأوسط هو جعل وحدة الصورة ذات الإشعاع العالي نسبياً تكون مشابهة في إشعاعها لوحدة الصورة المجاورة .

إذا كان عندنا مصفوفة صورة مكونة من تسعة عناصر 3×3 و عناصرها هي:

10,20,20,20,15,20,20,25,100 فإننا نقوم بترتيبها تصاعدياً على النحو التالي:

10, 15, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 25, 100 و العدد الخامس في الترتيب التصاعدي هو العدد 20 و يكون هو العدد الأوسط الذي يحل محل العدد المطلوب معالجته .

إن العملية الأخرى التي يتم فيها استخدام بيانات صورة رقمية ذات حزمة طيفية لتحسين بيانات صورة

رقمية من حزمة طيفية مختلفة تسمى عملية التحويل و سيتم شرحها في الباب التالي .

5.6 تمارين

1.5.6 اشرح الفرق بين التردد العالي و التردد المنخفض لبيانات الصورة الرقمية .

2.5.6 الشكل (أ) يبين بيانات أحد الصفوف لصورة رقمية . أرسم قطاعاً يوضح تغيرات الأعداد الرقمية في

هذا الصف . اجر عملية الترشيح على هذا الصف مستخدماً المرشح في الشكل (ب) ، ثم أرسم القطاع الذي

يوضح بيانات صف الصورة بعد الترشيح . ماذا تلاحظ ؟

1-	3	-1
----	---	----

64	66	60	65	60
----	----	----	----	----

(ب)

(أ)

3.5.6 أوجد بيانات الصورة الرقمية المنتجة بعد إجراء الترشيح على الصورة الرقمية المدخلة (الشكل أ)

مستخدماً المرشح في الشكل (ب). وضح الفرق بين بيانات الصورة قبل الترشيح و بعده .

0	1/4	0
1/4	-1	1/4
0	1/4	0

1	1	1	9	9
1	1	9	9	1
1	9	9	1	1
1	9	1	1	1
9	1	9	9	1

(ب)

(أ)

الباب السابع

تحويل الصور الرقمية

Image Transformation

1.7 المقدمة

كل عمليات تحسين الصورة التي تم دراستها حتى الآن كانت تجرى على صور رقمية ذات نطاق طيفي واحد أو حزمة طيفية واحدة ، أو على صور ذات حزم طيفية متعددة ولكن تجرى على كل حزمة منفردة . وفي هذا الباب سنتحدث عن معالجة الصور الرقمية ذات الحزم الطيفية المتعددة أو الصور ذات النطاق الطيفي الفردي ولكنها مأخوذة لنفس الموقع في أوقات مختلفة .

إن مصطلح "تحويل الصورة الرقمية" يقصد به تغيير قيم البيانات الرقمية الأصلية لوحدة الصورة بقيم جديدة تساعد في عمليات تفسير الصورة . ويمكن تقسيم أهم عمليات التحويل إلى مجموعتين . المجموعة الأولى تعرف "بطرق التحويل النظرية" (theoretical transformation methods) ويتم فيها التحويل بإجراء عمليات حسابية كعمليات الجمع و الطرح و الضرب و القسمة و بتطبيق نماذج رياضية معينة . و الطريقة الثانية تعرف "بطرق التحويل التجريبية" (empirical transformation methods) مثل تحويل المركبات الأساسية (principal components) و تحويل الألوان و التدرج الإشعاعي .

2.7 التحويل بالعمليات الحسابية Arithmetic Operations

تجرى العمليات الحسابية من جمع و طرح و ضرب و قسمة على صورتين أو أكثر مسجلة لنفس المنطقة الجغرافية [9],[14],[21] . من الممكن أن تكون هذه الصور لحزم طيف مختلفة من الماسح متعدد الأطياف ، كما يمكن أن تكون صور لحزم طيف فردية لمجموعة بيانات تم تسجيلها في أوقات متفاوتة لنفس المنطقة الجغرافية .

1.2.7 التحويل بعملية الجمع Image Addition

إذا توفرت صور رقمية عديدة لموقع معين في نفس الوقت فإن متوسط بيانات هذه الصور يمكن أن يستخدم كوسيلة لتخفيض تأثير الضجيج ، كما و أن إجراء عملية التحويل بالجمع لعدد من الصور الرقمية ذات الحزم الطيفية المختلفة قد استخدمت في التعرف على المؤشرات النباتية (vegetation indices) .
إن الصورة الرقمية يمكن أن يعبر عنها بالنموذج الرياضي التالي:

$$G(x,y) = F(x,y) + N(x,y) \quad (1.7)$$

حيث أن $G(x,y)$ = العدد الرقمي الأصلي لوحدة الصورة ذات الموقع (x,y) في الصورة ،

$F(x,y)$ = العدد الرقمي الحقيقي لوحدة الصورة (x,y) ،

$N(x,y)$ = مركب الضجيج العشوائي في وحدة الصورة (x,y) ،

و يمكن أن نتوقع أن تأخذ قيمة الضجيج $N(x,y)$ للوحدات المكونة للصورة شكل التوزيع الطبيعي (normal distribution) حول الوسط 0 حيث أنها عبارة عن مجموع الأخطاء غير المرتبطة أو الناتجة من عوامل قليلة الأهمية . و عليه فإن جمع صورتين منفصلتين لنفس المنطقة في الوقت نفسه يمكن أن يؤدي إلى إزالة الضجيج .
و يمكن تفسير ذلك بأن القيمة الأصلية للعدد الرقمي لوحدة الصورة (x,y) و هي $F(x,y)$ في كل من الصورتين ستكون قيمة ثابتة و قيمة الضجيج $N(x,y)$ يمكن أن تكون موجبة كما يمكن أن تكون سالبة .

إذا جمعنا العدد الرقمي $G_1(x,y)$ لوحدة الصورة (x,y) في الصورة الأولى مع العدد الرقمي $G_2(x,y)$ لوحدة الصورة المقابلة (x,y) في الصورة الثانية فإن ناتج الجمع يكون العدد الرقمي $G_{SUM}(x,y)$. إذا كان المدى للأعداد الرقمية لكل صورة يتراوح بين 0 و 255 فإن مدى الناتج سيكون بين 0 و 510 ، و إذا كان جهاز عرض الصورة له مقدار وضوح ثابت قيمته 8 بت فإن الناتج المشار إليه سيكون غير عملي . و لذلك يتم قسم ناتج الجمع على اثنين (أي إيجاد المتوسط) لتخفيض المدى إلى 0 – 255 مرة أخرى . و يستخدم النموذج التالي في عملية الجمع:

$$G_{SUM}(x,y) = [G_1(x,y) + G_2(x,y)] / 2 \quad (2.7)$$

و يقرب الناتج إلى أقرب عدد صحيح .

إذا أردنا زيادة المدى نقوم بإجراء تمديد التباين الخطي بطرح مقدار ثابت (a) و قسمة الناتج على مقدار ثابت آخر (d) و يصبح نموذج تحويل الجمع كما يلي:

$$G_{SUM}(x,y) = [G_1(x,y) + G_2(x,y) - a] / d \quad (3.7)$$

إن مقدار كل من a و d يمكن اختياره اعتماداً على ناتج جمع العدد الرقمي $G_1(x,y)$ و العدد الرقمي $G_2(x,y)$ لعدد من وحدات الصورة يتم اختيارها نظامياً من صورتين .

2.2.7 التحويل بعملية الطرح Image Subtraction

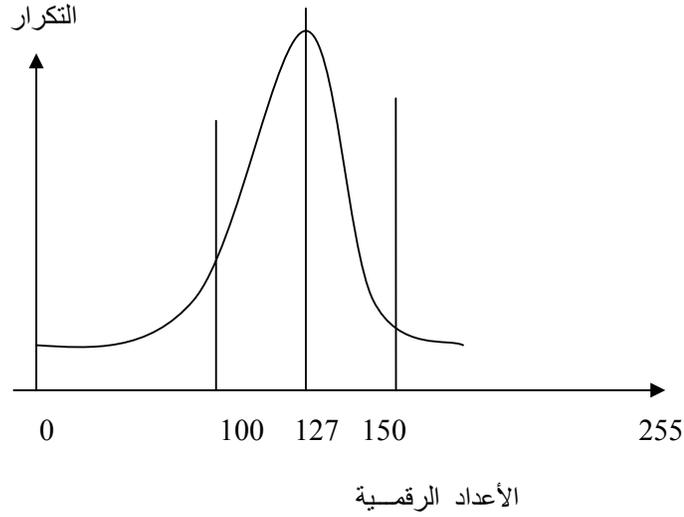
إن الهدف من عملية طرح الأعداد الرقمية لوحدة الصورة المتقابلة في صورتين أخذنا لنفس المنطقة في وقت مختلف هو تقييم التغير الذي يكون قد حدث في المنطقة بين فترتي التقاط الصورتين . إذا افترضنا أن المدى الرمادي (الأعداد الرقمية) لكل من الصورتين يتراوح بين 0 و 255 فإن أقصى فرق بالسالب بين عددين رقميين سيكون -255 (وهو حاصل طرح الرقم 255 من الرقم 0) ، و أقصى فرق موجب يكون 255 . و عليه فإن الحاجة لإعادة تدرج المدى الرمادي للصورة الناتجة من الطرح تظل موجودة و يجب حلها حتى يكون المدى الرمادي للصورة الناتجة بين 0 و 255 .

إذا أضفنا القيمة 255 إلى حاصل الطرح يصبح المدى 0-510 ثم إذا قسمنا الناتج على 2 نحصل على

المدى 0-255 ، و يكون التحويل بالطرح على هيئة النموذج التالي:

$$G_{DIF} = [255 + G_1(x,y) - G_2(x,y)] / 2 \quad (4.7)$$

كذلك يمكن استخدام معامل الإزاحة a و معامل الضرب $1/d$ لتمديد التباين بطريقة تمديد التباين الخطي . إن المنحنى التكراري للصورة الناتجة $G_{DIF}(x,y)$ يأخذ شكل المنحنى الطبيعي الذي قمته 127 و ينحدر إلى الجانبين انحداراً حاداً (الشكل 1.7) . و تمثل القمة 127 وحدات الصورة التي لم يحدث عندها تغييراً كبيراً ، في حين أن وحدات الصورة في طرفي المنحنى تمثل تلك التي حدث فيها تغييراً ملحوظاً .



الشكل 1.7: شكل المنحنى التكراري للصورة الناتجة بعد الطرح

و يمكن تجزئة المنحنى و اعتبار الأعداد الرقمية القريبة من 127 و تحديدها كما في الشكل 1.7 بالرقمين 100 و 150 على سبيل المثال باعتبارها هي وحدات الصورة التي لم يحدث عندها تغييراً كبيراً في الفترة الزمنية بين النقاط الصورتين ، و اعتبار طرفي المنحنى هما المنطقتان اللتان حدث فيهما تغييراً كبيراً و تحديدهما بالأعداد الرقمية بين 0 و 100 و بين 150 و 255 كما هو واضح في الشكل 1.7 . و يمكن إبراز وحدات الصورة ذات الأعداد الرقمية الطرفية بالأبيض و إبراز الأرقام الطرفية القريبة من القيمة الوسطى بالأسود للتفريق بين المنطقتين في الصورة . أما اختيار قيم الحدود للأعداد الرقمية التي تفصل بين مناطق التغيير و غيره فنتم اختيارياً بواسطة المحلل و بعد عمليات تجريبية يستخدم فيها خبرته .

3.2.7 التحويل بعملية الضرب Image Multiplication

في هذه العملية يتم ضرب الرقم العددي لوحدة الصورة في صورة ما في العدد الرقمي لوحدة الصورة المقابلة لها في صورة أخرى لنفس المنطقة .

إن هذه العملية نادرة الاستخدام فاستخدامها أقل من الطريقتين السابقتين ، و لكن تظهر أهميتها عندما يكون هنالك صورة تشمل منطقة فيها ظاهرتان مختلفتان تشكل إحداهما اهتماماً لمحلل الصورة . و كمثال لذلك

نفترض أن لدينا صورتين ، الأولى فيهما بالحزمة الطيفية 4 و الثانية بالحزمة 7 . و تظهر في الصورتين منطقة لمياه و أخرى لليابس . إن التغيير في انعكاس الأشعة من المنطقة اليابسة يجذب نظر المشاهد أكثر من تغيير الأشعة المنعكسة من طبقات الماء . هذا التأثير يمكن إزالته بتقنية يطلق عليها عملية التغطية (masking process) .

إن الخطوة الأولى لعملية التغطية هي إعداد مصفوفة الغطاء باستخدام الصورة ذات الحزمة الطيفية 7 و التي هي الأفضل في الفصل بين الماء و اليابس . من المنحنى التكراري لصورة الحزمة 7 يتم اختيار حد فاصل (رقم عددي) بين الماء و اليابس ، ثم يتم عمل صورة اصطناعية من صورة الحزمة 7 تتشكل هذه الصورة من الأعداد الرقمية 0 و 1 فقط . يمثل العدد الرقمي 1 وحدات الصورة التي لها أعداد رقمية أقل من الحد المختار للفصل بين الماء و اليابس ، و يمثل العدد الرقمي 0 وحدات الصورة المتبقية و هي التي يزيد عددها الرقمي على الحد الفاصل الذي تم اختياره من قبل . في الخطوة الثانية يتم ضرب الصورة الاصطناعية (مصفوفة الغطاء) ذات الأعداد الرقمية 0 و 1 في صورة الحزمة 4 . إن ضرب أي عدد رقمي في صورة الحزمة 4 في الرقم 1 يعطي الرقم نفسه ، أما ضرب العدد الرقمي في 0 فيكون الناتج 0 أيضاً . و بذلك تكون الصورة الناتجة من ضرب مصفوفة الغطاء في صورة الحزمة 4 هي صورة يمثل فيها العدد الرقمي 0 منطقة اليابسة و الأعداد الرقمية الأخرى غير 0 منطقة الغطاء المائي . و عليه تكون الصورة من قسمين فقط : أبيض و أسود ، أحدهما المنطقة المائية و الآخر المنطقة اليابسة فيسهل التفريق بينهما .

4.2.7 التحويل بعملية القسمة أو النسبة Image Division or Ratio

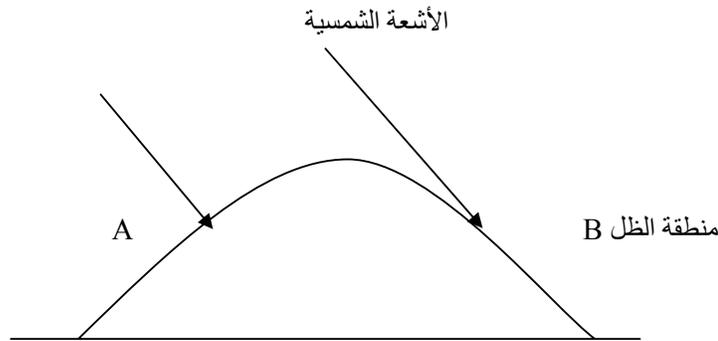
إن عملية قسمة الأعداد الرقمية لوحدات صورة على الأعداد الرقمية لوحدات الصورة المقابلة في صورة أخرى لإنتاج صورة رقمية جديدة يطلق عليها عملية القسمة أو النسبة (ratioing) . و تعتبر هذه العملية من أكثر عمليات التحويل الحسابي المستخدمة في معالجة الصور الرقمية ، و يعزى ذلك لسببين هما:

- 1 - يتيح استخدامها إظهار بعض أوجه أشكال منحنيات الانعكاس الطيفي (spectral reflectance curves) لأنواع مختلفة من الغطاء الأرضي .
- 2 - تخفيض تأثير تغيير التضاريس و تغيير الإضاءة على الأشعة المسجلة .

و لنفترض أن منطقة أعشاب على جانبي جبل قد صورت باستخدام حزمتين من الطيف هما الحزمة 1 و الحزمة 2 كما في الشكل 2.7 . إن صورة المنطقة التي تقع على جانب الظل (B) سيكون لها رقم عددي أقل في كل من الحزمتين إذا ما قارنا ذلك بصورة المنطقة التي تقع في مواجهة الأشعة (A) . إن مفسر الصورة ربما سيضع الجزء من المنطقة في الظل كصنف يختلف تماما من الجزء الذي يقع تحت التأثير المباشر للأشعة . إذا قسمنا العدد الرقمي لوحدة الصورة في الجزء المقابل للأشعة على الرقم العددي لوحدة الصورة في الظل سنحصل على نتيجة متقاربة في صورتنا الحزمتين .

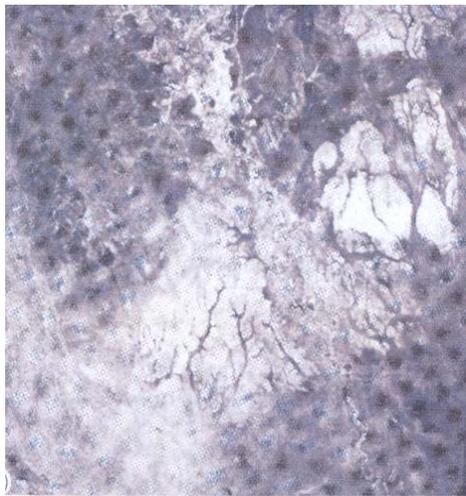
إذا كان العدد الرقمي لوحدة الصورة في الجهة المقابلة للأشعة في الحزمة 1 = 180 و العدد الرقمي لوحدة الصورة في الجهة المقابلة للأشعة في الحزمة 2 = 75 فإن حاصل القسمة للعددين = $180/75 = 2.40$ و إذا كان العدد الرقمي لوحدة الصورة في جهة الظل في الحزمة 1 = 90 و العدد الرقمي لوحدة الصورة في جهة الظل في الحزمة 2 = 37 فإن حاصل القسمة للعددين = $90/37 = 2.43$

و عليه فإن حاصل القسمة يكون عدداً رقمياً متساوياً في وحدتي الصورة المقابلة للأشعة و التي في الظل . هذا التساوي أيضاً ينتج في حالة قسمة بيانات الحزمة 2 على بيانات الحزمة 1 (0.41) . لاحظ أيضاً أن استخدام الطرح في هذه الحالة ينتج منه عدد رقمي لوحدة صورة مقابلة للأشعة ($180-75=105$) ضعف العدد الرقمي الناتج لوحدة الصورة تحت الظل ($90-37=53$) .

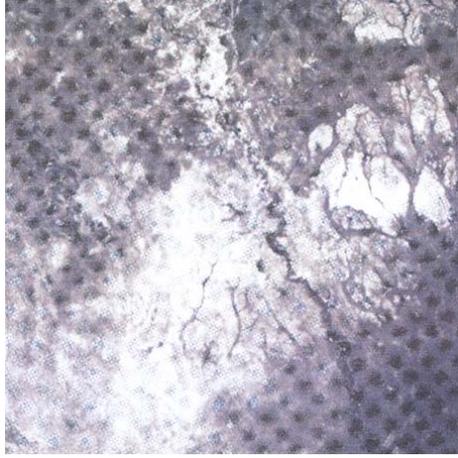


الشكل 2.7: منطقة عشبية على جانبي جبل صورت في نطاقين 1 و 2

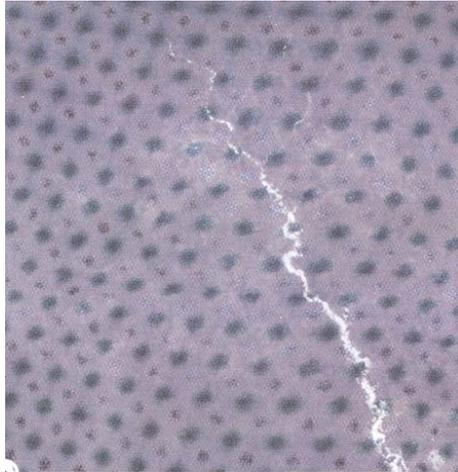
و لذلك تستخدم عملية القسمة لإزالة تأثير تغير التضاريس و ينتشر استخدامها في تطبيقات مختلفة مثل التطبيقات الجيولوجية و الجغرافية الحيوية و النباتات و دراسات الغابات و غيرها من الدراسات التي تهتم بالغطاء النباتي بصورة عامة . و إن أكثر عمليات القسمة استخداما مع صور الماسح متعدد الطيف هي قسمة صورة الحزمة 7 على صورة الحزمة 5 في الدراسات النباتية . و قد أظهرت الدراسات و التجارب أن النباتات الحية تعكس بقوة في حزمة الطيف 7 و تمتص بقوة أيضا في حزمة الطيف 5 . و توضح الصورة في الشكل 3.7 و الصورة في الشكل 4.7 صورتين للحزمة 5 و الحزمة 7 على التوالي لمنطقة في الصومال [14] . إنه من الصعوبة بمكان أن تعرف من هاتين الصورتين ما إذا كان الانعكاس الشديد (المناطق البيضاء) في صورة الحزمة 7 تقابله المناطق الداكنة في صورة الحزمة 5 . هذا هو المتوقع في حالة الغطاء النباتي النشط . أما الصورة الناتجة من قسمة الصورتين و هي الصورة في الشكل 5.7 فتبرز بوضوح توزيع الغطاء النباتي الحي أي شديد الإخضرار . و عليه فإن تقنية قسمة الحزم الطيفية تساعد في التغلب على مشكلة اختلاف كمية الطاقة المنعكسة من الأجسام التي تتكون من المادة نفسها . و يمكن عمل العديد من النسب بين الحزم الطيفية المختلفة . و على سبيل المثال يمكن عمل ستة نسب للماسح متعدد الأطياف : 1:2 ، 1:3 ، 1:4 ، 2:3 ، 2:4 ، 3:4 . و من هذه النسب يمكن إنتاج صور بالألوان الزائفة (false color) و ذلك بعمل مركب من ثلاث نسب ، كل نسبة تمثل أحد الألوان الرئيسية : الأحمر و الأخضر و الأصفر و قد أسهبننا في الحديث عن الألوان و تحويلها في الفصل الخامس.



الشكل 3.7: صورة في حزمة الطيف 5 [14]



الشكل 4.7: صورة لذات المنطقة في حزمة الطيف 7 [14]



الشكل 5.7: الصورة الناتجة بعد إجراء القسمة بين الحزمتين 5 و 7 [14]

3.7 التحويل باستخدام النسب المركبة Complex Ratios Transform

هنالك عمليات نسبية أو قسمة أكثر تعقيدا من عملية القسمة المباشرة التي ذكرناها في الفصل 4.2.7. مثال ذلك النموذج الرياضي المستخدم للتعرف على مؤشر فرق النبات الانتظامي (normalized difference vegetation index, NDVI). هذا النموذج يتم تكوينه من قسمة حاصل جمع و حاصل طرح صورتين الحزمتين 7 و 5:

$$NDVI = (B7 - B5) / (B7 + B5) \quad (5.7)$$

حيث B5 و B7 تمثل الأعداد الرقمية لوحدة الصورة المتقابلة في صورتين الحزمتين 5 و 7 على التوالي. ويمكن وضع هذا النموذج بصورة رياضية أخرى:

$$NDVI = [(B7-B5) / (B7 + B5)] + 1 - 1 \quad \text{من النموذج (5.7):}$$

$$= [(B7 - B5 + B7 + B5) / (B7 + B5)] - 1$$

$$= [2*B7/(B7 + B5)] - 1 \quad (6.7)$$

و مثال آخر هو مؤشر النبات المعدل لعامل نوعية التربة soil adjusted vegetation index

(SAVI)

$$SAVI = [(B7 - B5) / (B7 + B5 + 0.5)] * 1.5 \quad (7.7)$$

4.7 التحويل باستخدام تحليل المركبات الأساسية Principal Components Analysis

إن تقنية تحليل المكونات أو المركبات الأساسية هي عبارة عن وسيلة رياضية تستخدم في الدراسات الإحصائية للتبسيط من مجموعات البيانات الهائلة عبر تحويل عدد من المتغيرات ذات الارتباط الوثيق إلى عدد أقل من المتغيرات لا يرتبط بعضها ببعض و تسمى المكونات أو المركبات الأساسية. إن المبدأ الأساسي المستخدم لإجراء هذا التحويل هو تحويل البيانات خطيا من نظام إحداثيات إلى نظام إحداثيات آخر بحيث يصير التباين الأعظم لأي إسقاط للبيانات على المحور الأول لنظام الإحداثيات الجديد و يسمى هذا المحور المكون الأساسي الأول، كما يقع التباين الأعظم الذي يليه على المحور الثاني من هذا النظام الجديد [25], [21], [14].

و للمكونات الأساسية الناتجة من هذا التحويل الخصائص التالية:

* تتركز معظم المعلومات في المكون الأساسي الأول ، ثم تتركز معظم المعلومات المتبقية في المكون الأساسي الثاني ، ثم تتركز معظم البيانات المتبقية بعد ذلك في المكون الثالث ، و هكذا .
* لا تكون المكونات الأساسية مرتبطة بعضها ببعض . و ذلك على العكس تماماً من المكونات الأصلية و التي لها ارتباط عال فيما بينها .

في الكثير من الحالات في تقنية الاستشعار عن بعد يكون مقدار الأشعة المنعكسة من المادة المعينة على سطح الأرض متقارباً جداً في عدد من الحزم المختلفة من الطيف (بمعنى أنه في معظم الحالات يوجد تشابه في معامل الانعكاس للمواد الأرضية في الحزم المختلفة من الطيف) . و لذلك عندما يتم توقيع الرسم البياني الانتشاري (scatter graph) للأعداد الرقمية لأي حزمتين من الطيف فإن معظم النقاط تقع على الخط القطري (diagonal line) أو قريباً منه كما في الشكل 6.7 ، ذلك يدل على أن هنالك ارتباط عال بين بيانات الحزمتين و يستنبط من ذلك أيضاً وجود تكرار في البيانات . و تستخدم تقنية تحليل المركبات الأساسية لإعادة توزيع البيانات على محاور جديدة و بالتالي تخفيض الكمية الهائلة من البيانات الزائدة ، فتصبح بيانات الحزم الطيفية غير مرتبطة مما يسهل عملية تفسير و تصنيف الصور الرقمية .

و لكل عنصر أو وحدة صورة يحسب عدد رقمي جديد بالنسبة لنظام الإحداثيات الجديد . و بالتالي يكون هنالك مجموعة أعداد رقمية لوحدة الصورة بالنسبة للمكون الأساسي الأول و يتم تشكيل صورة رقمية جديدة من هذه الأعداد الرقمية ، و كذلك الحال بالنسبة للمكون الأساسي الثاني . و من الممكن تكوين مركبات أساسية على عدد الحزم الطيفية المستخدمة في التصوير .

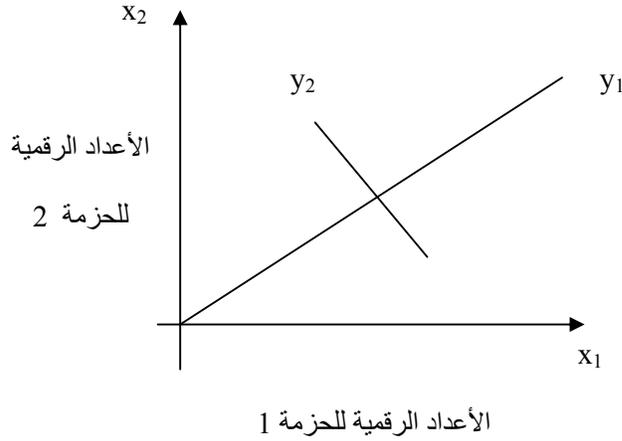
و كما هو مبين في الشكل 6.7 يمكن اختيار نظام إحداثيات جديد يكون فيه المحور الرئيسي الأول هو المحور الذي تجمعت فيه البيانات y_1 و المحور الثاني y_2 يكون متعامداً مع المحور الرئيسي الأول ، و يمكن أن يتم هذا التحويل باستخدام العلاقة الرياضية التالية:

$$y_1 = a_{11} x_1 + a_{12} x_2 \quad (8.7)$$

$$y_2 = a_{21} x_1 + a_{22} x_2$$

حيث أن (x_1 , x_2) هي إحداثيات وحدة الصورة في النظام الأصلي .

(y_1 , y_2) هي إحداثيات وحدة الصورة في النظام الجديد .



الشكل 6.7: الارتباط العالي بين الأعداد الرقمية لصورتَي الحزمة 1 و الحزمة 2

و القيم a_{11} ، a_{12} ، a_{21} ، a_{22} هي ثوابت التحويل التي يمكن حسابها بفرض الشروط التالية:

- 1- مجموع مربعات الثوابت يعادل وحدة واحدة .
- 2- أن يبلغ التباين بين بيانات الصورة الأصلية المدخلة (x_i) و الصورة المحولة (المخرجة) (y_i) في الحزمتين أقصى قيمة له (حيث أن i تمثل الحزمة 1 و الحزمة 2) .
- 3- عدم الارتباط بين المكون الرئيسي (y_1) و المكون الثانوي (y_2) .

عليه يمكن القول بأن عدد أبعاد الفراغ الطيفي يمثل عدد حزم الطيف للصورة الرقمية . فمثلاً نظام الماسح متعدد الأطياف MSS للقمر لاندسات يشكل فراغاً من أربعة أبعاد لوجود أربع حزم طيفية ، في حين أن الماسح الموضوعي TM يحتوي على بيانات طيفية من سبع حزم و بالتالي يشكل فراغاً طيفياً من سبعة أبعاد .

إن هذه التقنية مبنية على دراسة متجهات آيقون eigen vectors لمصفوفة تمام التباين covariance

matrix (V) و دراسة مصفوفة الارتباط correlation matrix (R)

و سنقدم فيما يلي مثالين لصورتين رقميتين [20] ، تحتوي كل منهما على بيانات طيف من حزمتين ثم

نوضح كيفية استخدام تحليل المركبات الرئيسية لتحويل بيانات كل من الصورتين . و يمكن تطبيق ذلك على بيانات طيف من عدة أبعاد .

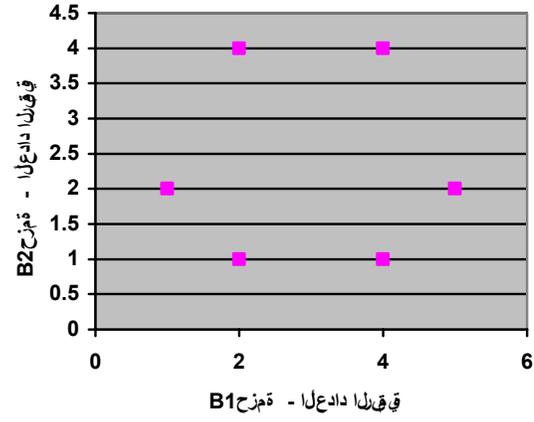
المثال الأول هو عبارة عن صورة رقمية (1) تتكون من حزمتي طيف B_1 و B_2 لها البيانات التالية:

$(X_i - M_2)$	$(X_i - M_1)$	DN (B_2)	DN (B_1)	وحدة الصورة
-0.33	-2	2	1	1
-1.33	-1	1	2	2
-1.33	1	1	4	3
-0.33	2	2	5	4
1.67	1	4	4	5
1.67	-1	4	2	6
		$M_2 = 2.33$	$M_1 = 3$	

حيث أن M_1 و M_2 هما متوسط الأعداد الرقمية في كل من الحزمة B_1 و الحزمة B_2 على التوالي ، تم

حسابهما من حاصل قسمة مجموع الأعداد الرقمية في كل حزمة على عدد وحدات الصورة في ذات الحزمة .

و قد تم تمثيل هذه البيانات على شكل رسم بياني تشبهي "scatter plot" كما هو مبين في الشكل 7.7 :

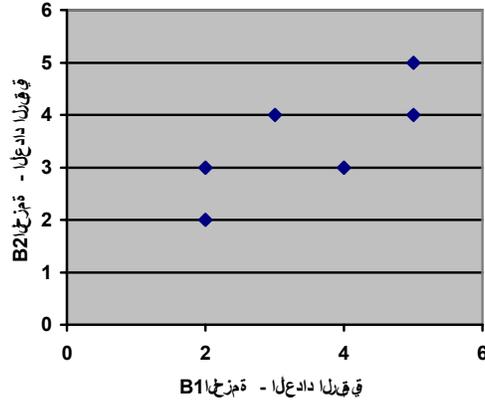


الشكل 7.7 رسم بياني تشتتي لبيانات الصورة رقم 1

المثال الثاني هو الصورة الرقمية رقم (2) ذات البيانات التالية:

$(X_i - M_2)$	$(X_i - M_1)$	DN (B_2)	DN (B_1)	وحدة الصورة
-1.5	-1.5	2	2	1
-0.5	0.5	3	4	2
0.5	1.5	4	5	3
1.5	1.5	5	5	4
0.5	-0.5	4	3	5
-0.5	-1.5	3	2	6
		$M_2 = 3.5$	$M_1 = 3.5$	

و يمثل الشكل 8.7 رسم بياني تشتتي لهذه الصورة الرقمية .



الشكل 8.7 رسم بياني تشتتي للصورة رقم 2

إن مصفوفة التباين و تمام التباين (V) variance-covariance matrix يمكن حسابها من العلاقة:

$$V = \sum \{(X_i - M) * (X_i - M)^T\} / (N - 1) \quad (9.7)$$

و بما أن عدد وحدات الصورة N يكون كبيراً جداً فيمكن كتابة هذه العلاقة كالتالي:

$$V = \sum \{(X_i - M) * (X_i - M)^T\} \quad (10.7)$$

حساب المصفوفة V_1 للصورة الأولى:

$$\begin{aligned}
 V_1 = & \left\{ \begin{bmatrix} -2 \\ -0.33 \end{bmatrix} [-2 \quad -0.33] + \begin{bmatrix} -1 \\ -1.33 \end{bmatrix} [-1 \quad -1.33] + \right. \\
 & \left. \begin{bmatrix} 1 \\ -1.33 \end{bmatrix} [1 \quad -1.33] + \begin{bmatrix} 2 \\ -0.33 \end{bmatrix} [2 \quad -0.33] + \right. \\
 & \left. \begin{bmatrix} 1 \\ 1.67 \end{bmatrix} [1 \quad 1.67] + \begin{bmatrix} -1 \\ 1.67 \end{bmatrix} [-1 \quad 1.67] \right\} / 6 \\
 = & \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1.223 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

و بالمثل يمكن حساب المصفوفة V_2 للصورة الثانية :

$$V_2 = \begin{bmatrix} 1.9 & 1.1 \\ 1.1 & 1.1 \end{bmatrix}$$

و لتميز الفرق بين قيمتي المصفوفتين نقوم بإيجاد ثم فحص مصفوفتي الارتباط R_1 و R_2

للصورتين :

إن عناصر مصفوفة الارتباط لأي صورة رقمية من حزمتين تكون على الشكل التالي:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} \\ r_{21} & 1 \end{bmatrix}$$

$$r_{ij} = V_{ij} / (V_{ii} - V_{jj})^{1/2} \quad \text{حيث أن}$$

$$\text{و أن } i=1,2 \text{ و } j=1,2$$

و بالتالي فإن مصفوفتي الارتباط للصورتين هما:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.76 & 1 \end{bmatrix}$$

من مصفوفة الارتباط للصورة الأولى يتبين أنه ليس هنالك ارتباط بين بيانات حزمتي الصورة (قيمة الارتباط تساوي صفر) ، و ذلك يعني أن كلا من الحزمتين تحمل بيانات أو معلومات عن المنطقة نفسها تختلف عن المعلومات التي تحملها الحزمة الأخرى . في حين أن معامل الارتباط بين بيانات حزمتي الصورة الثانية يساوي 0.76 و هي قيمة عالية تشير إلى أن بيانات الحزمتين عن المنطقة المصورة في الصورة الثانية متشابهة بدرجة عالية و ذلك يعني أن دراسة بيانات إحدى الحزمتين تكفي عن دراسة بيانات الحزمة الأخرى بدرجة

كبيرة . و يعني ذلك أن كثيراً من الجهد يمكن أن يوفر في البحث عن الصورة المناسبة لغرض دراسة معينة . و تشبه هذه العملية مرحلة الاستطلاع المساحي في المساحة الأرضية أو الجوية .

و بما أن الهدف من استخدام تحويل المركبات الأساسية هو تحويل نظام الإحداثيات الأصلي الذي كانت فيه بيانات الحزم الطيفية متشابهة (مثل حالة بيانات الصورة الثانية) إلى نظام إحداثيات جديد تنتفي فيه أو تقل نسبة الارتباط بين هذه البيانات فإننا سنقوم بتطبيق ذلك على بيانات الصورة الثانية في هذا المثال .

سنفترض أن مصفوفة الدوران G هي التي سنستخدمها لتحويل بيانات الصورة الثانية الموضوعة في المصفوفة X إلى البيانات الموضوعة في المصفوفة Y في نظام الإحداثيات الجديد (بعد التحويل) ، فتكون لدينا العلاقة التالية :

$$Y = G X \quad (11.7)$$

أما مصفوفة الدوران G فيمكن الحصول عليها بإيجاد القيم الأيقونية (الذاتية) eigen values (λ_i) و المتجهات الأيقونية (الذاتية) eigen vectors (g_i) من مصفوفة تمام التباين V_x على النحو التالي:
أولاً: لإيجاد القيم الذاتية نقوم بحل المعادلة:

$$V_x - \lambda I = 0 \quad (12.7)$$

حيث أن I هي مصفوفة الوحدة ، و لكل قيمة ذاتية λ_i لا تساوي صفر يمكن إيجاد متجه آيقون المقابل لها g_i و ذلك من المعادلة :

$$[V_x - \lambda_i I] g_i = 0 \quad (13.7)$$

و تكون مصفوفة الدوران المطلوبة هي

$$G = [g_1 \quad g_2 \quad g_3 \quad g_{nb}]^T \quad (14.7)$$

و على سبيل المثال سنقوم بحساب القيم الأيقونية و المتجهات الأيقونية للمصفوفة V_2 في المثال الذي بين أيدينا على النحو التالي .

$$\begin{bmatrix} 1.9 - \lambda & 1.10 \\ 1.10 - \lambda & 1.10 \end{bmatrix} = 0$$

$$\lambda^2 - 2.0 \lambda + 0.88 = 0$$

و حل هذه المعادلة هو:

$$\lambda_1 = 2.67 ; \lambda_2 = 0.33$$

و تكتب النتيجة على شكل متجه:

$$\lambda = \begin{bmatrix} 2.67 \\ 0.33 \end{bmatrix}$$

و بتعويض قيمة λ_1 في المعادلة (5.7) نحصل على:

$$\begin{bmatrix} 1.10 - 2.67 & 1.10 \\ 1.10 & 1.10 - 2.67 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{21} \end{bmatrix} = 0$$

ذلك يعني :

$$-0.77 g_{11} + 1.10 g_{21} = 0$$

$$1.10 g_{11} - 1.57 g_{21} = 0$$

و نسبة لارتباط المعادلتين أعلاه فإننا نوجد أولاً قيمة $g_{11} = 1.43 g_{21}$

و ذلك يعني مجموعة لا نهائية من الإجابات . و بفرض الشرط التالي: $g_{11}^2 + g_{21}^2 = 1$

يمكن الحصول على الحل:

$$g_1 = \begin{bmatrix} 0.82 \\ 0.57 \end{bmatrix}$$

إذن مصفوفة الدوران المطلوبة تكون:

$$G = \begin{bmatrix} 0.82 & -0.57 \\ 0.57 & 0.82 \end{bmatrix}^T$$

و عليه فإن تحويل المركبات الأساسية هو:

$$Y = G X$$

و يمكن كتابته كما يلي:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.82 & 0.57 \\ -0.57 & 0.82 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

و بعد إجراء التحويل يمكن إيجاد مصفوفة تمام التباين V_y لنظام الإحداثيات الجديد :

$$V_y = \begin{bmatrix} 2.67 & 0 \\ 0 & 0.33 \end{bmatrix}$$

هذه النتائج سيتم تحليلها باستخدام بيانات المثال للصورة الثانية ، و ذلك على النحو التالي:

إذا افترضنا أن $C1$ و $C2$ هما المحوران الناتجان بعد إجراء التحويل لبيانات الصورة الثانية (B_1 و B_2) فإن تباين البيانات variance على المحور $C1$ سيكون 2.67 ، في حين أنه سيكون 0.33 فقط على المحور $C2$. و من هذا يتضح أن تباين البيانات على واحد من المحورين بعد التحويل بطريقة المركبات الأساسية ، أي بعد إجراء الدوران لنظام الإحداثيات ، يساوي القيمة الأيقونية المقابلة ، و بما أن مجموع التباين قبل و بعد الدوران لم يتغير (المجموع قبل التحويل هو $1.10 + 1.90 = 3.00$ و المجموع بعد إجراء التحويل هو

$3 = 2.67 + 0.33$) ، مما يعني أن التحويل لم يكن له تأثير على مجموع التباين للبيانات الأصلية . و

باستخدام النسبة $1.9/3$ و النسبة $1.1/3$ يمكن إيجاد النسبة المئوية للتباين التي يمثلها كل من B_1 و B_2 :

تمثل بيانات B_1 نسبة مئوية قدرها: $63.3\% = (1.9/3)*100$ من التباين الكلي للبيانات الأصلية ،

و تمثل بيانات B_2 نسبة مئوية قدرها: $36.7\% = (1.1/3)*100$ من التباين الكلي للبيانات الأصلية .

أما إذا نظرنا إلى البيانات على المحورين $C1$ و $C2$ بعد إجراء عملية الدوران نجد أن النسب المئوية للتباين

على كل من المحورين على الوجه التالي:

تمثل البيانات على المحور $C1$ النسبة المئوية: $89\% = (2.67/3)*100$ من كامل البيانات ،

و تمثل البيانات على المحور $C2$ النسبة المئوية: $11\% = (0.33/3)*100$ من كامل البيانات.

و ذلك يشير إلى أن البيانات على المحور $C1$ تمثل نسبة عالية جداً من البيانات الكلية مقارنة بالبيانات على

المحور $C2$. و يطلق على بيانات المحور الأول المكون الرئيس principal component و بيانات المحور

الثاني المكون الثانوي secondary component . و عليه يمكن استخدام بيانات الحزمة الأولى ، التي على

محور المكون الرئيس فقط في عمليات معالجة و تحليل الصورة الرقمية ؛ دون أن نكون قد فقدنا الكثير من

بيانات الصورة . إن إجراء هذه العملية يمكن أن يتم على أي عدد من الحزم الطيفية . و يحقق ذلك هدف تقليل

عدد الحزم و حصر البيانات في أقل عدد منها مما يقلل كمية البيانات و يسهل بالتالي معالجتها [25].

و فيما يلي بعض مميزات تحويل الصورة الرقمية باستخدام تقنية تحليل المركبات الأساسية :-

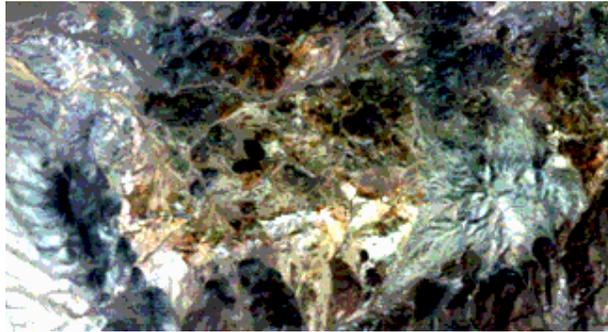
1 - يمكن ضغط المعلومات التي تتوفر في صور الحزم الطيفية المستخدمة في أقل عدد من الحزم مع المحافظة على نسبة عالية من المعلومات . تساعد هذه الخاصية تساعد في تقليل زمن معالجة البيانات بالحاسوب خاصة عملية التصنيف .

2 - تكون صور المكونات الأساسية الناتجة من هذه العملية أقل ارتباطاً مما يؤدي إلى إزالة الضجيج .

3 - يكون الفرق في الانعكاس الطيفي للمواد المختلفة على سطح الأرض أكثر وضوحاً في صور المكونات الأساسية منه في صور الحزم الطيفية منفردة .

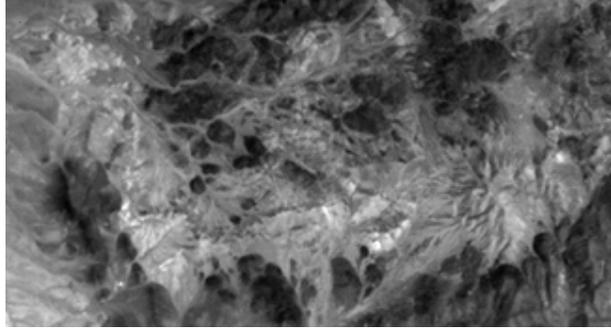
خلاصة القول أن هذا التحويل للبيانات الأصلية للصور الرقمية ينتج صوراً رقمية جديدة ذات خصائص تفسيرية أفضل ، و يتم بموجبه ضغط بيانات الحزم الطيفية ذات الارتباط القوي و بالتالي التخلص من تكرار البيانات و التركيز على التباين الذي يبرز خصائص الأهداف المصورة بشكل أفضل في عدد محدود من نطاقات الطيف .

يوضح الشكل 9.7 صورة بالألوان الطبيعية من القمر الصناعي لاندسات 4 أخذت بواسطة الماسح الموضوعي TM لمنطقة الجبل الأبيض، ولاية يوتا بأمريكا [12] . و في الأشكال 10.7 و 11.7 و 12.7 صور للمكونات الرئيسية الأول و الثاني و الثالث على التوالي . أما صورة المركب الرئيس في الشكل 10.7 فتظهر وكأنها صورة جوية أبيض و أسود للمنطقة و تظهر كل المعالم تقريبا كما في الصورة الأصل في الشكل 9.7 ، في حين أن صورة المكون الرئيس الثاني تظهر و قد فقدت كمية مقدرة من المعلومات التي كانت في الصورة الأصل . أما صورة المكون الرئيس الثالث فقد اختفت فيها جل هذه المعلومات و أصبحت غير ذات فائدة تذكر في عملية تفسير الصورة .

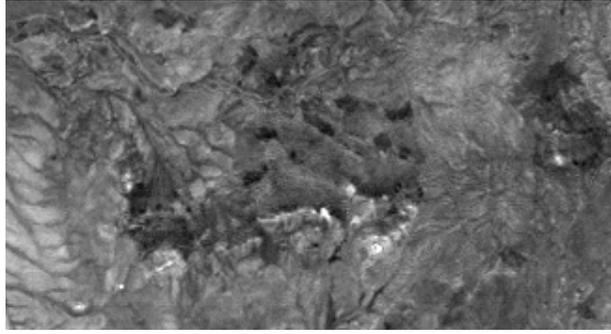


الشكل 9.7: صورة بالألوان الطبيعية من القمر الصناعي لاندسات 4 بالماسح الموضوعي TM قبل إجراء

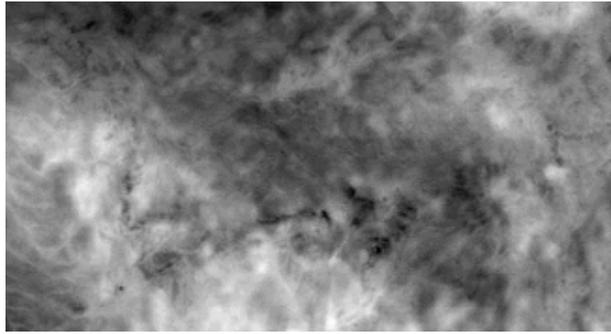
المعالجة بتحليل المركبات الرئيسية [12]



الشكل 10.7: صورة المركب الرئيس الأول [12]



الشكل 11.7: صورة المركب الرئيس الثاني [12]



الشكل 12.7: صورة المركب الرئيس الثالث [12]

بعد إجراء العمليات التي تم شرحها خلال الأبواب السابقة من تصحيح للأخطاء الهندسية و التشوّهات الإشعاعية و من ثم تحسين بيانات الصورة بإجراء تمديد التباين و الترشيح و التحويل تصبح الصورة الرقمية في وضع يجعلها أيسر للتفسير و التصنيف و هو ما سيتم شرحه في الباب الأخير من هذا الكتاب .

5.7 تمارين

1.5.7 عرف عملية تحويل الصور الرقمية .

2.5.7 ما هي أكثر العمليات الحسابية استخداماً في تحويل الصور الرقمية ؟ و لماذا ؟

3.5.7 ماذا يميز عملية تحويل الصورة الرقمية من عمليات التحسين الأخرى ؟

4.5.7 الأشكال التالية تبين بيانات صور من الحزم الطيفية A و B و C :

28	30	35
30	25	26

C

80	60	70
60	50	80

B

20	30	40
10	20	20

A

أ- أجر عمليات الجمع و الطرح على البيانات في الحزمتين A و B و قارن بين الصورة الناتجة من كل عملية و الصورتين الأصليتين .

ب- أجر عملية قسمة بيانات الحزمة B على بيانات الحزمة C و علق على الصورة الناتجة .

5.5.7 البيانات التالية عبارة عن الأعداد الرقمية لصورتين A و B كل منهما في حزمتين للطفيف B1 و B2

بيانات الصورة B
الحزمة B1 الحزمة B2

بيانات الصورة A
الحزمة B1 الحزمة B2

5	1	2
2	4	3

2	1	2
4	4	2

2	4	5
3	5	4

6	4	3
5	3	2

أ- أحسب متوسط الأعداد الرقمية لكل من بيانات الحزمة A و الحزمة B .

ب- أرسم الرسم البياني التشتتي لبيانات الصورتين A و B .

ج- أحسب مصفوفة التباين و تمام التباين لكل صورة .

د- أحسب مصفوفة الارتباط و معامل الارتباط لكل من الصورتين ثم بين أي منهما تحمل بيانات ذات

ارتباط أعلى و قم بإجراء عملية تحويل المركبات الأساسية عليها .

الباب الثامن

تصنيف الصور الرقمية

Image Classification

1.8 مقدمة

يمكن تعريف عملية تصنيف الصورة الرقمية بأنها عملية يتم فيها تحويل الصورة إلى خريطة موضوعية تحمل معلومات عن الظواهر الموجودة في المنطقة المصورة ، و ذلك من خلال تحديد الظاهرة الأرضية التي تمثلها كل وحدة من وحدات الصورة .

و تعتبر عملية تصنيف الصور الرقمية الخطوة الأهم في عمليات معالجة الصور الرقمية إذ أنها الهدف النهائي لهذه العمليات و هي العملية التي يتم فيها استنباط المعلومات من الصورة بعد إجراء كل عمليات التعديل و التحسين التي تم بحثها في الأبواب السابقة .

إن التصنيف متعدد الأطياف هو عملية يتم فيها توزيع وحدات الصورة على مجموعات أو أصناف بناءاً على معايير الطيف للأعداد الرقمية لهذه الوحدات ، فإذا حققت وحدة الصورة معايير طيفية معينة أو شروطاً محددة فإنها تنسب إلى الصنف أو المجموعة التي تتصف بهذه المعايير الطيفية .

و بناءاً على نوعية المعلومات المطلوب الحصول عليها من البيانات المدخلة فإن هذه الأصناف أو المجموعات يمكن ربطها بظواهر معروفة على سطح الأرض . و من أمثلة مخرجات التصنيف خريطة تبين غطاء الأرض تظهر عليها النباتات و الأراضي القاحلة و الأراضي الحضرية . إن من أوجه الاختلاف بين الصورة الرقمية و الخريطة هو أن الخريطة يمثل فيها كل غطاء أرضي معين برمز أو لون واحد ، فعلى سبيل المثال فإن سطح الماء يمثل في الخريطة باللون الأزرق في حين أن الصورة الرقمية يمثل فيها سطح الماء بأعداد رقمية متفاوتة و ليس بالعدد الرقمي نفسه . وثمة وجه اختلاف آخر هو أن في الكثير من الخرائط تجد مساحات بيضاء ، بمعنى أنه لا يمثل عليها أي غطاء أرضي ، في حين أن الصورة الرقمية تكون تمثيلاً رقمياً مستمراً لغطاء الأرض حتى في تلك الأماكن الخالية من الغطاء الأرضي في الخريطة .

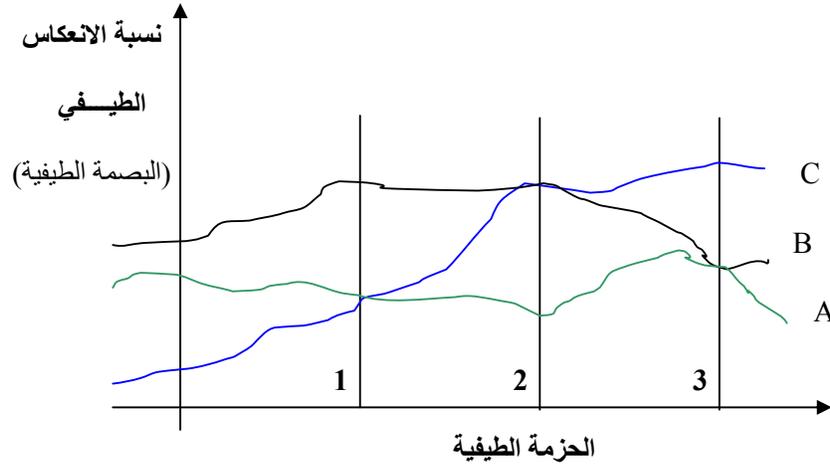
إن عملية التصنيف هي عملية يتم فيها التعرف على وحدات الصورة ذات الخصائص الطيفية المتماثلة و التي يفترض أنها تتبع لنفس الصنف و تسجيلها بلون أو رمز واحد . ذلك يعني أننا نعطي كل وحدة صورة رمزاً أو لوناً أو علامة تدل على أنها تمثل غطاءً معيناً لسطح الأرض . و في عملية التصنيف يمكن تصنيف منطقة

زراعية مثلا للتعرف على الأنواع المختلفة من الحبوب المزروعة فيها ، أو تصنيف منطقة جبلية للتعرف على أنواع الصخور المختلفة التي تشكل تلك المنطقة .

2.8 البصمة الطيفية Spectral Signature

إن القاعدة الأساسية للتصنيف الطيفي للصور هي معرفة ما يسمى بالبصمة الطيفية لكل ظاهرة أرضية في المنطقة التي تغطيها الصورة تحت الدراسة .

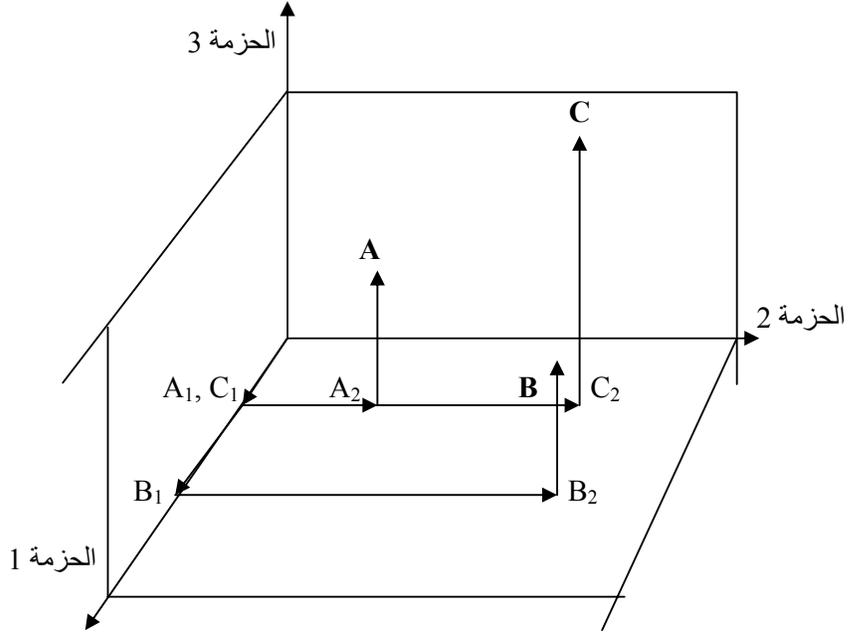
يوضح الشكل 1.8 كيف أن انعكاس الأشعة يختلف مع طول الموجة لثلاث أنواع مختلفة من غطاءات الأرض A, B, C إذا تم تصويرها بنظام تصوير يمكن أن يلتقط البيانات في ثلاث نطاقات (حزم) للطيف 1, 2, 3. و من الواضح أنه لا يمكن التمييز بين الغطاءات الأرضية الثلاث باستخدام حزمة طيفية منفردة .



الشكل 1.8: البصمة الطيفية لثلاثة غطاءات أرضية

في الحزمة الطيفية 1 لا يمكن التمييز بين الغطاء الأرضي A و الغطاء الأرضي C ، وكذلك في الحزمة الطيفية 2 لا يمكن التمييز بين الغطاء الأرضي B و الغطاء الأرضي C ، وفي الحزمة الطيفية 3 لا يمكن التمييز بين الغطاء الأرضي A و الغطاء الأرضي B ، ففي كل حالة من الحالات الثلاث المذكورة يكون هنالك تشابه في الأعداد الرقمية لوحديتي الصورة .

و إذا تم تمثيل الغطاءات الأرضية الثلاث على رسم ثلاثي الأبعاد يمثل كل محور فيه أحد الحزم الطيفية الثلاث فمن الممكن حينئذ التمييز بين الغطاءات الأرضية الثلاث بسهولة (الشكل 2.8).



الشكل 2.8: تمثيل ثلاثي الأبعاد للنطاقات الطيفية الثلاثة

و عليه كلما استخدمنا عددا أكبر من الحزم الطيفية تمكنا من التمييز بين الغطاءات الأرضية بدقة أعلى . إلا أن استخدام المزيد من الحزم الطيفية في عملية التصنيف يزيد من وقت الحسابات و يجعلها أكثر تعقيداً . و في هذه الحالة يمكن استخدام تقنية تحويل المركبات الأساسية في عملية التصنيف . إن المثال الذي شرحناه أعلاه يعتبر مثالا مبسطاً جداً ، ذلك لأن الغطاءات الأرضية يظهر كل منها على صورة كل نطاق بأعداد رقمية متفاوتة و ليس بعدد رقمي واحد ، فيمثل كل غطاء في الفراغ ثلاثي الأبعاد بعدد من النقاط و ليس بنقطة واحدة مثلما هو الحال في الشكل 2.8 . و ربما تتداخل هذه النقاط مع بعضها البعض . إن العملية التي يتم فيها جعل وحدة الصورة التي تحمل عدداً رقمياً واحداً تنتمي إلى صنف معين من غطاءات الأرض يطلق عليها عملية التصنيف . و هنالك نوعان من عمليات التصنيف هما: التصنيف المراقب و التصنيف غير المراقب ، و فيما يلي نبذة عن كل منهما [25], [21], [14].

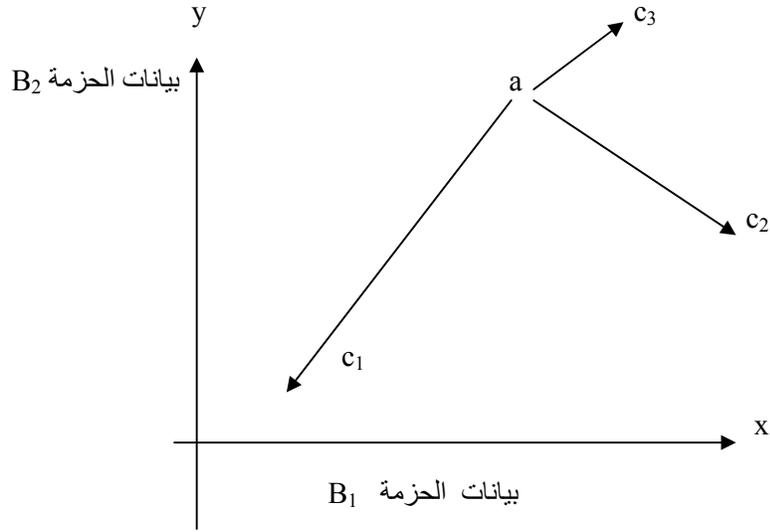
3.8 التصنيف المراقب Supervised Classification

و هو عملية تصنيف تبنى على معلومات عن الخصائص الطيفية لغطاءات الأرض في المنطقة المصورة سبق الحصول عليها من خلال زيارات ميدانية أو من خرائط أو من صور جوية تغطي المنطقة .
يبدأ محلل الصور بعرض الصورة على شاشة العرض و يحدد عليها مناطق مختارة لكل صنف من أصناف غطاء الأرض في المنطقة المعنية . و تسمى هذه المناطق المختارة مواقع التدريب (training sites) .
و من المفضل أن تكون موزعة على منطقة الدراسة و ليست محصورة في جزء واحد منها . تستخدم مناطق التدريب كأمتلة تدخل بياناتها لبرنامج التصنيف . ثم يتم حساب معاملات إحصائية من بيانات مناطق التدريب و يتم مقارنة العدد الرقمي لكل وحدة صورة مع هذه المعاملات الإحصائية التي تمثل غطاءات الأرض . فإذا وافق العدد الرقمي لوحدة الصورة خصائص إحدى الغطاءات فإنها تنسب لذلك الغطاء ، و نكون بذلك قد صنفنا وحدة الصورة بالإنتماء إلى إحدى غطاءات الأرض في المنطقة . و من ثم يتم وضع رمز أو لون لكل منطقة تمثل أحد أصناف الغطاء الأرضي مما ينتج عنه خريطة موضوعية (thematic map) . و هنالك تقنيات مختلفة لعمليات التصنيف الطيفي نكتفي بتقديم المبدأ الأساسي لإثنين منها .

1.3.8 التصنيف بطريقة المسافة الأقصر من الوسط Minimum Distance Classifier

و تعتبر هذه الطريقة من أبسط طرق التصنيف . و نبدأ بإيجاد القيمة الطيفية (الرقم العددي) الوسطى لكل مجموعة من وحدات الصورة التي تمثل غطاءاً أرضياً معيناً و ذلك في كل من الحزم المصورة . ثم نحسب 'بعد وحدة الصورة التي نريد تصنيفها من القيمة الوسطى لكل مجموعة من الغطاءات الأرضية ، و ننسب وحدة الصورة إلى الغطاء الأرضي التي تكون هي أقرب إلى وسطه .

و لنفترض أننا استخدمنا حزمتين من الطيف هما الحزمة B_1 و الحزمة B_2 . و من البيانات المدخلة من منطقة التدريب حددنا القيمة الوسطى لثلاث غطاءات أرضية في المنطقة هي الغطاءات C_1 و C_2 و C_3 ممثلة بهذه القيم الوسطية كما هو في الشكل 3.8 . نحسب 'بعد وحدة الصورة a من مواقع مراكز الغطاءات الثلاث (C_1, C_2, C_3) . و يتم حساب المسافة بين نقطتين في المستوى الديكارتي باستخدام نظرية فيثاغورس .



الشكل 3.8: طريقة المسافة الأقصر

إذا كانت إحداثيات القيم الوسطى (المراكز) الثلاث كالتالي:

المركز	الإحداثي في اتجاه بيانات الحزمة B ₁ (x)	الإحداثي في اتجاه الحزمة B ₂ (y)
c ₁	x ₁	y ₁
c ₂	x ₂	y ₂
c ₃	x ₃	y ₃

المسافة (a-c_i) بين وحدة الصورة a (x_a, y_a) والمركز c_i (حيث i=1,2,3) هي:

$$a-c_i = [(x_i - x_a)^2 + (y_i - y_a)^2]^{1/2} \quad (1.8)$$

مثال 1.8:

يبين الشكل 4.8 و الشكل 5.8 بيانات صورة في الحزمة B₁ و الحزمة B₂ على التوالي ، و يبين الشكل 6.8 بيانات حقلية مرجعية تظهر اثنين من غطاء الأرض: نبات (V) و ماء (W) ، باستخدام طريقة المسافة الأقرب المطلوب تصنيف وحدات الصورة x₁ و x₂ و x₃ ذات الإحداثيات : x₁(1,1), x₂(2,3), x₃(3,1)

5	2	1
4	7	2
2	4	0

الشكل 4.8: بيانات الحزمة B1

8	2	1
6	5	1
5	1	2

الشكل 5.8: بيانات الحزمة B2

	V	
		W

الشكل 6.8: صورة البيانات الحقلية

الحل:

من البيانات الحقلية نحدد موقع صنفى النبات و الماء في مستوى الإحداثيات ثنائي الأبعاد (محور الحزمة B1 و

محور الحزمة B2) : النبات: $V(7,5)$ ؛ $W(0,2)$ ،

ثم نحدد إحداثيات وحدات الصورة المطلوب تصنيفها في نفس نظام الإحداثيات:

وحدة الصورة	B1	B2
x1	5	8
x2	2	1
x3	2	5

لاستخدام طريقة الجار الأقرب نحسب مسافة كل وحدة صورة مطلوب تصنيفها من موقع كل من صنف النبات و الماء على النحو التالي:

$$(13)^{1/2} = [(7-5)^2 + (5-8)^2]^{1/2} = V \text{ من الصنف } x1 \text{ بعد وحدة الصورة}$$

$$(61)^{1/2} = [(0-5)^2 + (2-8)^2]^{1/2} = W \text{ من الصنف } x1 \text{ بعد وحدة الصورة}$$

إذن وحدة الصورة $x1$ هي أقرب مسافة إلى الصنف V و لذلك تصنف في الغطاء النباتي .

$$(41)^{1/2} = [(7-2)^2 + (5-1)^2]^{1/2} = V \text{ من الصنف } x2 \text{ بعد وحدة الصورة}$$

$$(5)^{1/2} = [(0-2)^2 + (2-1)^2]^{1/2} = W \text{ من الصنف } x2 \text{ بعد وحدة الصورة}$$

تنتمي وحدة الصورة $x2$ إلى الصنف W ؛

$$(25)^{1/2} = [(7-2)^2 + (5-5)^2]^{1/2} = V \text{ من الصنف } x3 \text{ بعد وحدة الصورة}$$

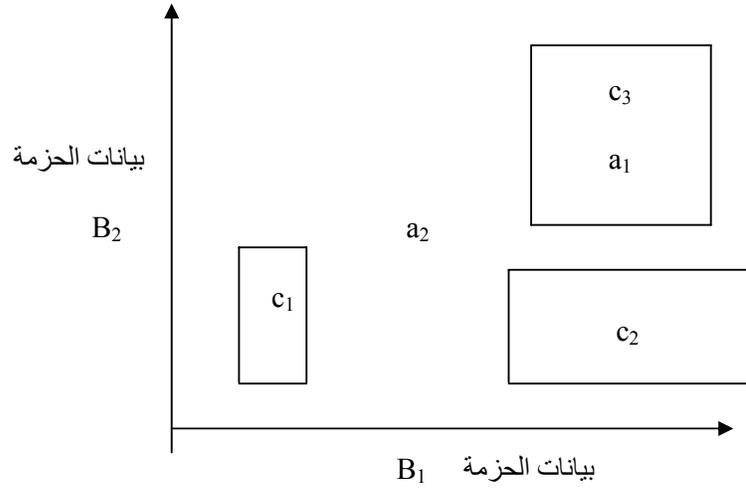
$$(34)^{1/2} = [(7-2)^2 + (2-5)^2]^{1/2} = W \text{ من الصنف } x3 \text{ بعد وحدة الصورة}$$

و عليه فإن وحدة الصورة $x3$ تصنف في الصنف V إذ هي أقرب إليه .

إن ميزة هذه الطريقة هي أنه لايد من تصنيف كل وحدات الصورة ، إذ أن كل وحدة صورة يلزم أن تكون أقرب إلى إحدى القيم الوسطية للغطاءات الأرضية في المنطقة ، إضافة إلى ذلك فهي الأسهل في عملية الحساب .

2.3.8 التصنيف بطريقة متوازيات السطوح Parallelepiped Classifier

في هذه الطريقة يتم تحديد أعلى و أدنى قيمة لكل صنف من الغطاءات في كل من حزم الطيف المستخدمة في التصوير ، كما يمكن تمثيل ذلك بأشكال هندسية هي عبارة عن متوازيات سطوح . و تصنف كل وحدة صورة على حسب المتوازي الذي تقع فيه . و من المحتمل أن تقع وحدة الصورة خارج كل المتوازيات و بالتالي تصنف بأنها مجهولة الهوية ، أي أنها لا تنتمي لأي من الغطاءات الأرضية التي تعرفنا عليها من عملية التدريب . يوضح الشكل 7.8 متوازيات لبيانات الغطاءات الثلاث في الحزمتين B_1 و B_2 . في هذا الشكل يمكن تصنيف وحدة الصورة a_1 بأنها تنتمي إلى الغطاء c_3 ، في حين أن وحدة الصورة a_2 تعتبر مجهولة الهوية .



الشكل 7.8: طريقة التصنيف بمتوازيات السطوح

مثال 2.8:

- يبين الشكل 8.8 و الشكل 9.8 بيانات الحزمة B1 و الحزمة B2 على التوالي لصورة رقمية تغطي منطقة بها 5x5 من وحدات الصورة ، كما يوضح الشكل 10.8 البيانات الحقلية (المرجعية) لنفس المنطقة للغطاء النباتي V ، و المطلوب:
- حدود قيم الأعداد الرقمية التي تمثل الغطاء النباتي في كل من الحزمتين (الحد للرقم الأدنى و الحد للرقم الأعلى) ،
 - الوسط الحسابي لمنطقة الغطاء النباتي في كل حزمة ،
 - تصنيف وحدات الصورة التي تنتمي للغطاء النباتي في كل من الحزمتين و ذلك باستخدام بيانات الحقل و طريقة متوازيات السطوح أو الحدود الدنيا و القصوى للأعداد الرقمية . ثم وضح المنطقة التي تطابقت فيها نتيجة التصنيف من الحزمتين .

4	6	5	2	1
3	5	4	1	2
5	3	2	4	0
4	4	2	2	1
4	5	1	3	2

الشكل 8.8: بيانات الحزمة B1

8	6	8	2	1
7	8	6	0	1
6	7	5	1	0
6	6	6	2	4
8	7	4	3	4

الشكل 9.8: بيانات الحزمة B2

		V		
	V			
V				

الشكل 10.8: البيانات الحقلية للمنطقة المصورة

الحل:

من البيانات الحقلية في الشكل 10.8 و بيانات الحزمة B1 في الشكل 8.8 و الحزمة B2 في الشكل 9.8 :

الحزمة B1 : الرقم الأدنى الذي يمثل الغطاء النباتي = 3

الرقم الأعلى الذي يمثل الغطاء النباتي = 5

الحزمة B2 : الرقم الأدنى الذي يمثل الغطاء النباتي = 6

الرقم الأعلى الذي يمثل الغطاء النباتي = 8

الوسط الحسابي لبيانات الغطاء النباتي في الحزمة B1 = $(4 + 3 + 5)/3 = 4$

الوسط الحسابي لبيانات الغطاء النباتي في الحزمة B2 = $7 = (6 + 7 + 8)/3$

نتيجة تصنيف الحزمة B1 :

V		V		
V	V	V		
V	V		V	
V	V			
V	V		V	

نتيجة تصنيف الحزمة B2 :

V	V	V		
V	V	V		
V	V	V		
V	V	V		
V	V			

نتيجة التصنيف المتطابق من الحزمتين:

V		V		
V	V	V		
V	V			
V	V			
V	V			

3.3.8 تصنيف الاحتمالية العظمى Maximum Likelihood Classification

يعتبر التصنيف بطريقة الاحتمالية العظمى هو الأكثر استعمالاً في عمليات التصنيف الطيفي . و الطريقة مبنية على أساس أن احتمال انتماء وحدة الصورة لأي من أصناف الظواهر الأرضية متساوياً . و يقتضى تطبيق ذلك أن تكون مدرجات التكرار لبيانات حزم الصورة ذات توزيع طبيعي حتى تعطي نتائج عالية الدقة . أما إذا لم تكن البيانات ذات توزيع طبيعي فإن استخدام إحدى الطرق السابق شرحها يكون أفضل من استخدام هذه الطريقة نسبة لأنها تحتاج إلى عمليات حسابية أكثر تعقيداً و كلفة خاصة مع زيادة عدد حزم الطيف . و تعتمد هذه الطريقة على قاعدة باي Bay's rule . و فيما يلي توضيح خطوات الحصول على النموذج المستخدم: إذا عبرنا عن مجموعة أصناف الظواهر على سطح الأرض في منطقة الدراسة بالحرف C ، حيث:

$$C = C_1, C_2, C_3, \dots, C_{n_c} \quad (2.8)$$

و حيث أن n_c هي العدد الكلي للأصناف ، ثم إذا أخذنا وحدة صورة pixel ذات متجه x لمستوى الرمادية (و هو متجه تكون عناصره هي الأعداد الرقمية لوحدة الصورة في عدد x من الحزم الطيفية) ، فإن احتمال انتماء المتجه x إلى الصنف C_i تكون:

$$P(C_i | x) \quad (3.8)$$

حيث أن $i = 1, 2, 3, \dots, n_c$. و إذا كان الاحتمال $P(C_i | x)$ معلوم لكل صنف فبالإمكان حينئذ تحديد الصنف الذي تنتمي إليه وحدة الصورة ذات المتجه x وذلك بإجراء المقارنة بين الاحتمالات $P(C_i | x)$. و يمكن التعبير عن ذلك رياضياً كما يلي:

$$\text{إذا كان } P(C_i | x) > P(C_j | x) \text{ لكل } j \neq i \text{ فإن } x \text{ تنتمي إلى الصنف } C_i \text{ ،}$$

و بما أن قيمة الاحتمال $P(C_i | x)$ لا يمكن التعرف عليها مباشرة فيمكن تطبيق قاعدة باي ، و التي تنص على أنه: إذا افترضنا أن $P(C_i)$ هي نسبة احتمال أن الصنف C_i يوجد في الصورة تحت التصنيف (و نطلق عليها الاحتمالية المسبقة) ، و أن $P(x)$ هي نسبة احتمال انتماء وحدة الصورة x إلى كل صنف C_i ، فيمكن وضع العلاقة التالية:

$$P(x) = \sum P(x | C_i) * P(C_i) \quad (4.8)$$

حيث أن i هي رقم صنف الغطاء الأرضي من 1 إلى n_c ،

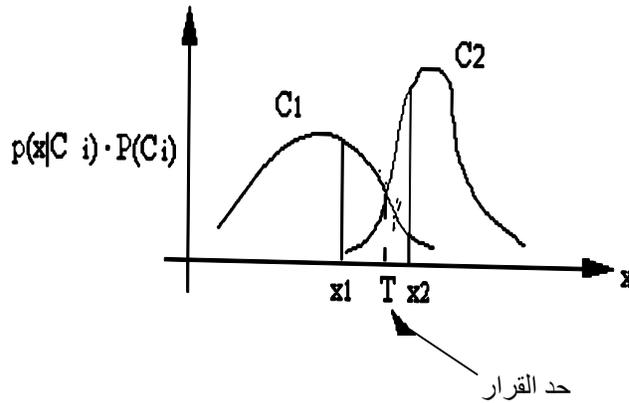
و بما أن القيمة $P(x)$ غير مطلوبة في ذاتها لعملية التصنيف ، إذ بالإمكان إلغاؤها من طرفي المعادلة عند مقارنة الاحتمالين: $P(C_1 | x)$ و $P(C_2 | x)$. و الاحتمالات الشرطية التي يتطلب معرفتها للتصنيف هي: $P(x | C_i)$ حيث $i = 1, 2, \dots, n_c$ ، و لإيجاد الحل لهذه الاحتمالات الشرطية يمكن افتراض أن دالة توزيع شرط الاحتمال تكون ذات توزيع طبيعي (توزيع قاوس) ، و عليه يمكن تطبيق النموذج التالي للتوزيع الانتظامي:

$$P(x | C_i) = \{1 / [(2\pi)^{1/2} \delta_i]\} \text{ex}[-(x - \mu_i)^2 / (2 \delta_i^2)] \quad (5.8)$$

في هذا النموذج نحتاج لإيجاد معاملين فقط لكل صنف هما: μ_i و هو المتوسط لبيانات الصنف C_i و δ_i و هو الانحراف المعياري لبيانات الصنف C_i و يمكن إيجاد كل من هذين المعاملين من عينة البيانات الحقيقية . كما يمكن تطبيق النموذج على النحو التالي إذا كان هنالك عدد nb من حزم الطيف:

$$P(x | C_i) = \{1 / [(2\pi)^{nb/2} (|V_i|)^{1/2}]\} \text{ex}[-0.5(x - \mu_i)^T V_i^{-1}(x - \mu_i)] \quad (6.8)$$

و في هذا النموذج: μ_i هي متوسط بيانات المتجه C_i ، و V_i هي مصفوفة تمام التباين ، أما $P(C_i)$ فيمكن إيجادها من المعرفة المسبقة لمنطقة الدراسة ، و إلا فمن الممكن أن نفترض أن لكل صنف نفس نسبة احتمال الحدوث ، بمعنى: $P(C_1) = P(C_2) = \dots = P(C_{nc})$ ، و بمعرفة كل من نسبة الاحتمال $P(x | C_i)$ و $P(C_i)$ يمكن تطبيق تصنيف الاحتمالية العظمى . و يمكن المقارنة بين $P(x | C_i)$ و $P(C_i)$ لكل الأصناف من 1 إلى nc كبديل لإيجاد $P(C_i | x)$ في التعرف على تحديد الصنف الذي تنتمي إليه وحدة الصورة x . الشكل 8.8 يوضح تطبيق هذا التصنيف: فوحدة الصورة x_i تصنف تبعاً للصنف C_i إذا كانت $P(x | C_i) * P(C_i)$ هي القيمة القصوى ، ففي هذا الشكل تصنف وحدة الصورة x_1 تبعاً للصنف C_1 كما تصنف وحدة الصورة x_2 تبعاً للصنف C_2 ، و تمثل نقطة تساوي الاحتمالين (تقاطع المنحنيين) الحد الفاصل بين الصنفين كما يظهر ذلك في الشكل 11.8.



الشكل 11.8: التصنيف بطريقة الاحتمالية العظمى [25]

و لتبسيط العمليات الحسابية يمكن استخدام لوغاريثم الدالة لتصبح:

$$\begin{aligned} \text{Log} \{P(x | C_i) \cdot P(C_i)\} = & - (nb/2) \text{Log } 2\pi - 0.5 \text{Log } |V_i| - \\ & 0.5 (x - \mu_i)^T - V_i^{-1}(x - \mu_i) + \text{Log} (P(C_i)) \end{aligned} \quad (7.8)$$

و بما أن حاصل قيمة $2\pi \text{Log}(nb/2)$ - قيمة ثابتة فمن الممكن تبسيط الطرف الأيمن للمعادلة ليكون:

$$g(x) = -0.5 \text{Log} |V_i| - 0.5(x - \mu_i)^T V_i^{-1} (x - \mu_i) + \text{Log} P(C_i) \quad (8.8)$$

و يطلق على $g(x)$ دالة التمييز discrimination function ، و في الغالب ما نفترض أن $P(C_i)$ متساوية لكل الأصناف ، و يساعد ذلك في تبسيط المعادلة مرة أخرى لتكون:

$$g(x) = -\text{Log} |V| - (x - \mu_i)^T V_i^{-1} (x - \mu_i) \quad (9.8)$$

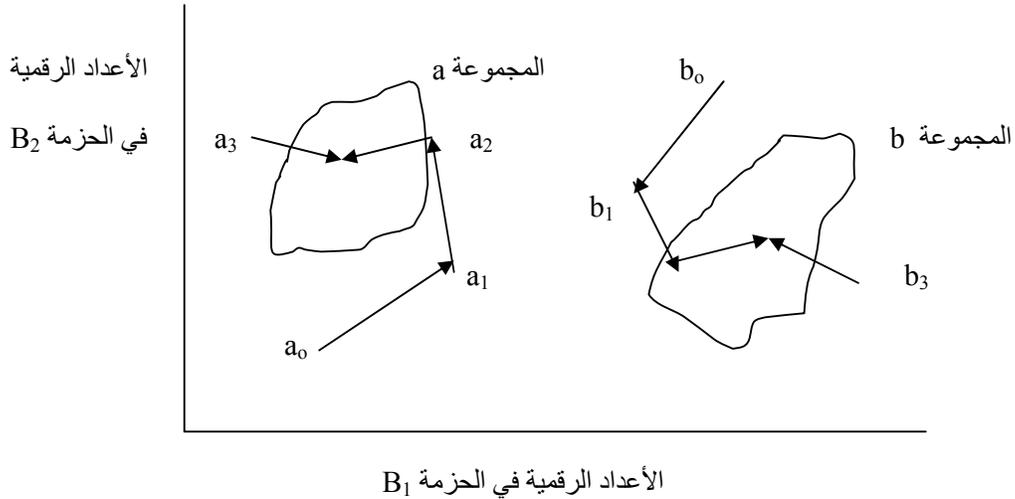
و بمقارنة قيم $g(x)$ نستطيع تصنيف وحدة الصورة x بوضعها في الصنف الذي تنتمي إليه . و من الضروري التأكد من أن بيانات العينة تخضع للتوزيع الطبيعي و يستوجب ذلك أن تكون العينة كبيرة (عشرات أضعاف عدد الحزم الطيفية المستخدمة في التصنيف) و الأفضل أن تكون موزعة في منطقة الدراسة و لا تتركز في جزء معين منها.

4.8 التصنيف غير المراقب Unsupervised Classification

و لا تستخدم في هذه التقنية معلومات مسبقة عن منطقة الدراسة ، أي أنها لا تتضمن مرحلة التدريب ، و ذلك يعني أنه لا توجد إمكانية لتقدير موقع الوسط المركزي للأصناف المختلفة من غطاءات الأرض . و قد يكون هنالك عدم معرفة حتى بعدد الغطاءات الأرضية في منطقة الدراسة ؛ و إنما يتم فيها استخدام خوارزميات لتجميع وحدات (عناصر) الصورة ذات الخصائص الطيفية المتماثلة في تجمعات محددة (clusters) . هذه التجمعات عبارة عن أصناف طيفية (spectral classes) لم تعرف هوية كل مجموعة منها بعد . و تكون المرحلة الثانية تحديد هوية الغطاء الأرضي الذي يمثل كل مجموعة من مجموعات وحدات الصورة ذات الخصائص الطيفية المتماثلة . تتم هذه العملية باستخدام ما يعرف بالأدوات الذاتية أي بما لدى محلل البيانات من معلومات عن الغطاءات الأرضية في منطقة الدراسة و لذلك يطلق على هذا النوع من التصنيف "التصنيف الذاتي" أو "التصنيف غير المراقب" . و سنقوم بتوضيح إحدى عمليات التصنيف غير المراقب من خلال المثال التالي .

يوضح الشكل 12.8 مجموعتين من وحدات الصورة ، تم توقيع وحدات هذه الصورة على نظام إحداثيات ثنائي الأبعاد يمثل المحور الأفقي فيه الأعداد الرقمية لوحدات الصورة في صورة الحزمة الطيفية B_1 و المحور

الرأسي الأعداد الرقمية لوحداث الصورة في صورة الحزمة الطيفية B_2 . إن المركز الأوسط لكل من المجموعتين مجهول الموقع . نختار عشوائيا نقطتين a_0 و b_0 ليكونا المركزين الوسطيين لكل من مجموعة وحدات الصورة a و b على التوالي . سنستخدم قانون المسافة الأقصر للمركز لتحديد الهوية الطيفية لكل وحدة صورة . و لتطبيق ذلك نحسب المسافة بين وحدة الصورة و بين كل من المركزين a_0 و b_0 فأيهما كانت أقرب يتم انتساب وحدة الصورة لها . و يمكن الاكتفاء بحساب مربع المسافة بدل المسافة . فإذا كان مربع المسافة من وحدة الصورة إلى المركز a_0 أقل من مربع المسافة من وحدة الصورة إلى المركز b_0 فإن وحدة الصورة هذه تعتبر تابعة للمجموعة a ، و إلا فسوف تتبع للمجموعة b . و نكون بذلك قد شكلنا مجموعتين جديدتين ، فنحسب موقع المركز الأوسط لكل مجموعة ، و لنفترض أنهما a_1 و b_1 . ثم نعيد استخدام قانون المسافة الأقصر لإعادة تشكيل المجموعتين و من ثم حساب موقع المركز الأوسط لكل منهما ، و لنفترض أنهما a_2 و b_2 على التوالي . و تستمر هذه العملية حتى نصل مرحلة لا يكون هنالك تغيير في موقع المركز الأوسط لكل من المجموعتين . و بذلك يكون قد تم في هذه المرحلة تصنيف وحدات الصورة إلى مجموعتين لكل منهما خصائص طيفية متقاربة أو مشتركة . و يمكن أن يتم تطبيق نفس هذه الطريقة لتصنيف وحدات الصورة إلى أي عدد من المجموعات ذات الخصائص الطيفية المشتركة كما يمكن استخدام أي عدد من الحزم الطيفية .



الشكل 12.8: التصنيف غير المراقب بطريقة التجميع

5.8 تقييم دقة التصنيف Accuracy Assessment of Classification

تعتبر عملية تقييم نتائج التصنيف الخطوة الأخيرة و المهمة في عمليات التصنيف إذ الهدف منها التعرف على مدى تجميع وحدات الصورة تجميعاً صحيحاً بحيث تكون قد وضعت كل مجموعة منها تبعاً للصنف الذي تمثله حقيقة و تقييم ذلك كميّاً لاستنتاج مدى إمكانية الاعتماد على نتائج ذلك التصنيف في تطبيقات علوم الأرض المختلفة .

و في هذه العملية يمكن اختيار عدد من وحدات الصورة بطريقة عشوائية و مقارنة نتائج تصنيفها مع معلومات عن المنطقة يمكن الحصول عليها من الصور الجوية أو الخرائط ذات المقياس الكبير أو بعمل ميداني يقوم فيه محلل الصور بالتعرف على ما تمثله وحدة الصورة المصنفة (و تمثل نتائج هذا العمل الميداني قاعدة البيانات الأرضية لمنطقة الدراسة) ، ثم عقد مقارنة بين هذه المعلومات الميدانية و نتائج التصنيف . فإذا كانت نتيجة تصنيف وحدة الصورة تتطابق مع ما تمثله على الأرض حسب المعلومات التي تم الحصول عليها من العمل الميداني يكون تصنيف وحدة الصورة صحيحاً ، و إذا اخترنا عدداً معتبراً من وحدات الصورة (يمثل نسبة كبيرة من الصورة) و موزعاً توزيعاً جغرافياً مناسباً على الصورة فإن نتيجة تحليل دقة هذه العينة من وحدات الصورة يمكن أن تعتبر ممثلة لدقة تصنيف الصورة بوجه عام .

إن الخطوة الأولى في عملية تقييم دقة التصنيف هي إنشاء مصفوفة خطأ التصنيف "classification error matrix" ، و يطلق عليها جدول الشك "contingency table" ، و هي مصفوفة تتكون عناصرها من أرقام تمثل عدد وحدات الصورة المختارة لتحليل الدقة لتمثل كل ظاهرة على سطح الأرض من نتائج التصنيف و من قاعدة البيانات الأرضية (البيانات المرجعية "reference data") . فنضع عدد وحدات الصورة المصنفة لكل ظاهرة أرضية في صف من صفوف المصفوفة ، و نضع عدد وحدات الصورة من البيانات المرجعية لكل ظاهرة أرضية في عمود من أعمدة المصفوفة . و المصفوفة أدناه على سبيل المثال تمثل منطقة دراسة فيها من الظواهر الأرضية غطاء نباتي (V) و مسطح مائي (W) و منطقة مباني (U) :

الخطأ	مجموع الصفوف	U	W	V	الصف
51%	57	15	14	28	V
29%	21	5	15	1	W
9%	22	20	1	1	U
	100	40	30	30	مجموع الأعمدة
		50%	50%	7%	الخطأ

تشير العناصر القطرية في هذه المصفوفة (28, 15, 20) إلى عدد العينات التي تتطابق فيها نتائج التصنيف مع البيانات المرجعية . و تمثل العناصر غير القطرية في كل صف: (1, 1, 1, 5, 14, 1) عدد وحدات الصورة من عينة الاختبار و التي تم تصنيفها خطأ (وضعت تبعاً لصف لا تمثله حقيقة) و يطلق عليه خطأ التصنيف commission error ، و تمثل عناصر المصفوفة غير القطرية في كل عمود: (1, 1, 14, 1, 15, 5) عدد وحدات الصورة التي أهملها المصنف أي حذفها و لم يضعها مع أي من الأصناف الثلاثة و يطلق على هذا الخطأ خطأ الحذف omission error . و يمكن حساب الدقة الكلية (σ_t) من حاصل قسمة مجموع وحدات الصورة التي تطابقت في التصنيف مع البيانات المرجعية على مجموع وحدات الصورة المختبرة:

$$\sigma_t = (28 + 15 + 20) / 100 = 63\% \quad (10.8)$$

إن الدقة الكلية (σ_t) ليست مؤشراً صحيحاً لمعرفة دقة تصنيف كل مجموعة من المجموعات المصنفة ، إذ أنه عند حساب الدقة الكلية يفترض أن تكون المجموعات متساوية في الدقة . و لدراسة دقة كل مجموعة مفردة فيمكن استخدام دقة المستخدم (user's accuracy) أو دقة المنتج (producer's accuracy) كما يلي:

دقة المستخدم (دخ) = عدد وحدات الصورة التي صنفت تصنيفاً صحيحاً ÷ مجموع وحدات الصورة في الصف و تسمى دقة المستخدم لأن المستخدم تهمة النسبة من وحدات الصورة التي صنفت تصنيفاً صحيحاً .

دقة المنتج (دت) = عدد وحدات الصورة التي صنفت تصنيفاً صحيحاً ÷ مجموع وحدات الصورة في العمود ، و تسمى دقة المنتج لأن المنتج يهتم بدقة تصنيف العينات المرجعية .

و يلاحظ أن دقة تصنيف المفردات يمكن التعبير عنها بخطأ التصنيف و خطأ الحذف:

$$\text{خطأ التصنيف} = 1 - \text{دقة المستخدم} \quad (11.8)$$

$$\text{خطأ الحذف} = 1 - \text{دقة المنتج}$$

و كذلك يمكن التعرف على دقة التصنيف باستخدام معامل كبا (k) kappa coefficient ، و الذي يستخدم لقياس العلاقة بين الاتفاق المتوقع لاحقاً (beyond chance agreement) و عدم الاتفاق (الاختلاف) المتوقع (expected disagreement) . و تستخدم في إيجاد كل عناصر مصفوفة دقة التصنيف ، و ليس فقط العناصر القطرية في المصفوفة .

إن قيمة المعامل كبا تحسب كالتالي [26],[25]:

نفترض أن عدد وحدات الصورة المستخدمة في تقييم الدقة تساوي N ، و أن عناصر المصفوفة هي x_{ij} ،

$$\sum x_{ij} = x_{i+} \text{ هي الصف } i$$

$$\sum x_{ij} = x_{+j} \text{ هي العمود } j$$

إذن تقدير قيمة المعامل كبا هي:

$$k = [N \sum x_{ii} - \sum x_{i+} x_{+i}] / [(N^2 - \sum x_{i+} x_{+i})] \quad (12.8)$$

و إذا كانت قيمة k تساوي 0 فذلك يعني عدم الاتفاق ، بينما تشير قيمة k=1 إلى الاتفاق التام بين نتائج التصنيف و البيانات المرجعية .

و قد اقترح مونستر و ليمانس [27] في دراسة عن تقييم دقة التصنيف استخدام معامل كبا أن تكون

قيمة $k = 0.75$ و أعلى لأن هذه القيمة تعطي نتائج جيدة جداً في التصنيف . و إذا كانت قيمة k أقل من 0.4 فذاك مؤشر لدقة متواضعة و ربما غير مقبولة في عملية التصنيف .

و للمزيد من التفصيل في هذه العملية يمكن الرجوع إلى المراجع [27]-[25], [14] .

لقد تطورت تقنيات تصنيف الصور الرقمية بفضل التقدم الهائل الذي حدث في تقنيات الحاسوب و

خاصة من ناحية السعة التخزينية و أساليب البرمجة . و قد ظهرت برامج ذات كفاءة عالية في عمليات معالجة

الصور الرقمية من ناحية عامة و بالأخص في مجال التصنيف . و من بين هذه البرامج و أكثرها استخداماً

برنامج ايرداس ERDAS [23],[14] و برنامج انفي ENVI [14] .

هذا وقد تم استخدام عمليات تصنيف الصور الرقمية الفضائية في مشاريع عديدة و تطبيقات مختلفة و

ذلك لما تحتويه من معلومات قيمة في مجالات علوم الأرض مثل الجيولوجيا و التربة و المياه و الزراعة و

الغابات بالإضافة إلى التطبيقات في المجالات الهندسية و العمليات العسكرية . و للمزيد من التفصيل في هذه

التطبيقات يمكن الرجوع إلى المراجع التالية: [28],[21],[17],[14] .

6.8 تمارين

1.6.8 وضح الفرق بين التصنيف المراقب و التصنيف غير المراقب .

2.6.8 يوضح الشكل التالي صورة رقمية من حزمتين B1 و B2 :

B1			B2		
9	6	4	9	6	8
8	5	6	3	7	6
7	9	5	2	5	7

و يوضح الشكل التالي البيانات المرجعية لذات المنطقة في الصورتين:

		U
	U	U
V	V	U

حيث أن الحرف U يمثل منطقة حضرية و الحرف V يمثل منطقة نباتات .

استخدم طريقة المسافة الأقصر لتصنيف وحدات الصورة (1,1) ، (1,2) و (2,1) .

3.6.8 لبيانات الصورتين و البيانات المرجعية المعطاة في السؤال الثاني أعلاه:

أ- أحسب الحد الأدنى و الحد الأعلى للأعداد الرقمية التي تمثل المنطقة الحضرية في كل من الحزمتين .

ب- أوجد الوسط الحسابي للأعداد الرقمية التي تمثل الغطاء الحضري في كل من الحزمتين .

ت- استخدم طريقة متوازيات السطوح لتصنيف وحدات الصورة التي تمثل الغطاء الحضري في كل من

الحزمتين .

ث- وضح المنطقة التي تتطابق فيها نتيجة تصنيف الحزمتين .

4.6.8 يبين الجدول التالي نتائج لتصنيف صورة رقمية لمنطقة تحوي البيانات الحقلية لها ثلاث ظواهر

طبيعية هي: A و B و C ، علماً بأن البيانات الحقلية قد سجلت في الأعمدة لهذه القائمة . أوجد قيمة معامل

دقة التصنيف كابا ، ثم أوجد خطأ التصنيف و خطأ الحذف .

الصف	A	B	C
A	42	4	3
B	5	45	12
C	39	3	2

المراجع

References

- [1] Campbele, J. B., "Introduction to Remote Sensing," *Guilford Press, New York, USA*, 2002.
- [2] Colwell, R. N., "Manual of Remote Sensing," *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Falls Church, Virginia, USA, 1983.
- [3] Gibson, P. and C. H. Power, "Introductory Remote Sensing – Digital Image Processing and Applications," *Routledge*, London, UK, 2000.
- [4] العنقري ، خالد محمد ، "الاستشعار عن بعد و تطبيقاته في الدراسات المكانية" ، شركة العبيكان للطباعة و النشر ، الرياض ، المملكة العربية السعودية ، 1986 .
- [5] Lillesand, T. M., R. W. Keifer and J. W. Chipman, "Remote Sensing and Image Interpretation," 5th edition, *John Wiley and Sons*, New York, USA, 2004.
- [6] Jensen, J. R., "Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective," *Prentice Hall*, New Jersey, USA, 2005.
- [7] أبو ريشة ، علي وفا عبد الرحمن . "أسس تقنيات الاستشعار عن بعد" مركز دراسات الصحراء ، جامعة الملك سعود ، الرياض ، المملكة العربية السعودية ، 1993 .
- [8] Schowengerdt, R. A., "Remote Sensing Models and Methods for Image Processing," *Academic Press*, Burlington, MA, USA, 1997.
- [9] Sabins, F. F. Jr., "Remote Sensing Principles and Interpretation," *W. H. Freeman and Co.*, New York, USA, 1997.
- [10] Rencz, A. N. and R. A. Ryerson, "Manual of Remote Sensing for the Earth Sciences," Volume 3, *John Wiley and Sons*, New York, USA, 1999.
- [11].Digital Globe, "Images for the Media", www.digitalglobe.com/sample_imagery.shtml, 2004.
- [12] Short, N. M., "Remote Sensing Tutorial", www.rst.gsfc.nasa.gov,

- [13] USGS, "Earth Shots", www.earthshots.usgs.gov/Riyadh/1990.
- [14] Mather, P.M., "Computer Processing of Remotely Sensed Images," *John Wiley and Sons*, New York, USA, 2004.
- [15] Haring, R. "Introduction to Digital Electronics," www.watson.ibm.com/leo/Introelect/IntroElectro_adder.htm, 2003.
- [16] Sanchez, J. and M. P. Canton, "Space Image Processing," *CRC Press*, New York, USA, 1999.
- [17] Avery T. E. and G. L. Berlin, "Fundamentals of Remote Sensing and Air Photo Interpretation," *MacMillan*, New York, USA, 1992.
- [18] Baxes, A. G. "Digital Image Processing," *John Wiley and Sons*, New York, USA, 1994.
- [19] Castleman, K. R., "Digital Image Processing," *Prentice Hall Inc.*, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1995.
- [20] Ekstrom, M.P. "Digital Image Processing Techniques, ." *Academic Press Inc.*, New York, USA, 1984..
- [21] Richards, J. A. and X. Jia, "Remote Sensing Digital Image Analysis," *Springer-Verlag*, Berlin, Germany, 1999.
- [22] Russ, J. C., "The Image Processing Handbook," *CRC Press Inc.*, Boca Raton, USA, 1995.
- [23] ERDAS, Inc., "ERDAS Tour Guides," *ERDAS Imagine*, Atlanta, Georgia, USA, 1999.
- [24] Center for GIS, Towson University, "Remote Sensing Principles: Image , , Processing", 1991. www.chesapeake.towson.edu/data
- [25] P. Gong, "Remote Sensing and Image Analysis", www.nature.berkeley.edu

- [26] Congalton, R. "A Review of Assessing the Accuracy of Classification of Remotely Sensed Data", *Remote Sensing of Environment*, No.37, pp. 35-46, 1991
- [27] Mentesrud, R. A. and Leamans, R., "Comparing Global Vegetation Maps with the Kappa Statistics", *Ecological Modelling*, No.62, pp. 275-293, 1992.
- [28] Rencz, A. B. "Manual of Remote Sensing, Vol.5: Remote Sensing of Human Settlements ". *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Bethesda, M., USA, 2006.

