

تصنيف الصور الرقمية

Image Classification

(١، ٨) مقدمة

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

وتعتبر عملية تصنيف الصور الرقمية الخطوة الأهم في عمليات معالجة الصور الرقمية إذ أنها الهدف النهائي لهذه العمليات وهي العملية التي يتم فيها استنباط المعلومات من الصورة بعد إجراء كل عمليات التعديل والتحسين التي تم بحثها في الفصول السابقة.

إن التصنيف متعدد الأطياف هو عملية يتم فيها توزيع عناصر الصورة على مجموعات أو أصناف بناءً على معايير الطيف للأعداد الرقمية لهذه الوحدات؛ فإذا حقق عنصر الصورة معايير طيفية معينة أو شروطاً محددة فإنه ينسب إلى الصنف أو المجموعة التي تتصف بهذه المعايير الطيفية.

وبناءً على نوعية المعلومات المطلوب الحصول عليها من البيانات المدخلة فإن هذه الأصناف أو المجموعات يمكن ربطها بظواهر معروفة على سطح الأرض. ومن

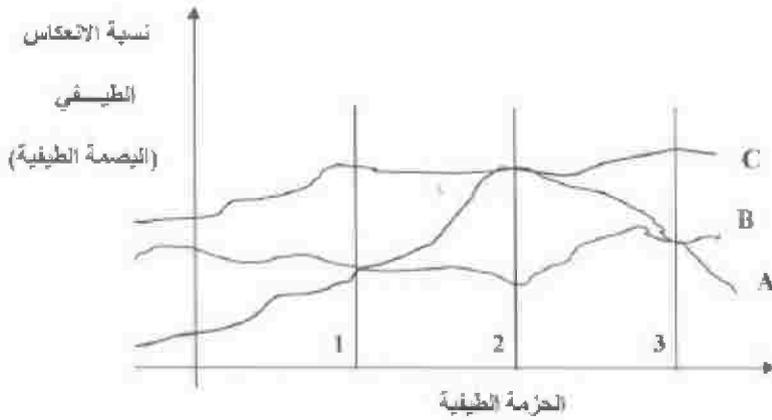
أمثلة مخرجات التصنيف خريطة تبين غطاء الأرض تظهر عليها النباتات والأراضي القاحلة والأراضي الحضرية. إن من أوجه الاختلاف بين الصورة الرقمية والخريطة هو أن الخريطة يمثل فيها كل غطاء أرضي معين برمز أو لون واحد، فعلى سبيل المثال فإن سطح الماء يمثل في الخريطة باللون الأزرق في حين أن الصورة الرقمية يمثل فيها سطح الماء بأعداد رقمية متفاوتة وليس بالعدد الرقمي نفسه. وثمة وجه اختلاف آخر هو أن في كثير 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.

إن عملية التصنيف هي عملية يتم فيها التعرف على وحدات الصورة ذات الخصائص الطيفية المتماثلة التي يفترض أنها تتبع لنفس الصنف وتسجيلها بلون أو رمز واحد. ذلك يعني أننا نعطي كل وحدة صورة رمزاً أو لوناً أو علامة تدل على أنها تمثل غطاء معيناً لسطح الأرض. وفي عملية التصنيف يمكن تصنيف منطقة زراعية مثلاً للتعرف على الأنواع المختلفة من الحبوب المزروعة فيها، أو تصنيف منطقة جبلية للتعرف على أنواع الصخور المختلفة التي تشكل تلك المنطقة.

(٨،٢) 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 رقم (٨،١) كيف أن انعكاس الأشعة يختلف مع طول الموجة لثلاثة أنواع مختلفة من الظواهر (الأهداف) التي تغطي سطح الأرض: A، B، C إذا تم تصويرها بنظام تصوير يمكن أن يلتقط البيانات في ثلاث نطاقات (حزم) للطيّف

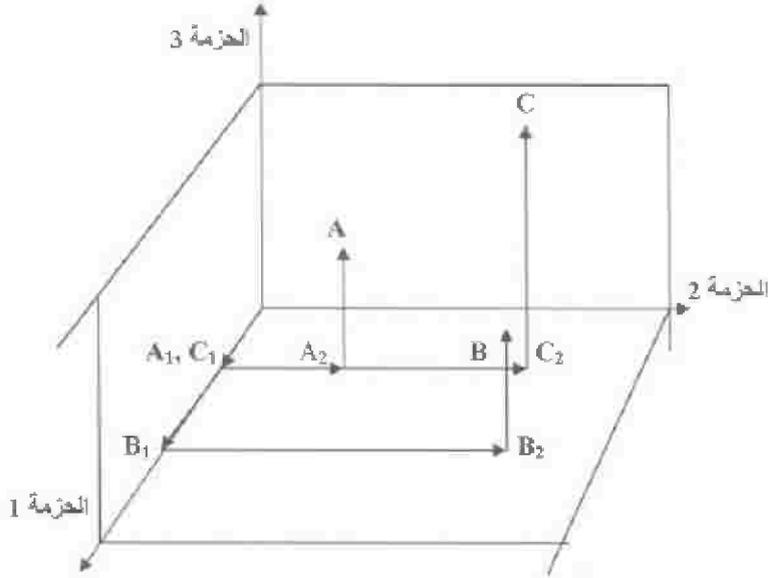
1، 2، 3. ومن الواضح أنه لا يمكن التمييز بين هذه الظواهر الأرضية الثلاث باستخدام حزمة طيفية منفردة.



الشكل رقم (١، ٨). البصمة الطيفية لثلاثة أهداف أرضية.

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

وإذا تم تمثيل الأهداف الأرضية الثلاثة على رسم ثلاثي الأبعاد يمثل كل محور فيه أحد الحزم الطيفية الثلاث فمن الممكن حينئذ التمييز بين هذه الأهداف الأرضية الثلاثة بسهولة (الشكل رقم ٢، ٨).



الشكل رقم (٨، ٢). تمثيل ثلاثي الأبعاد للنطاقات الطيفية الثلاثة.

وعليه 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 ويجعلها أكثر تعقيداً. وفي هذه الحالة يمكن استخدام تقنية تحويل المركبات الأساسية في عملية التصنيف.

إن المثال الذي شرحناه أعلاه يعتبر مثلاً مبسطاً جداً، ذلك لأن الأهداف الأرضية يظهر كل منها على صورة كل نطاق بأعداد رقمية متفاوتة وليس بعدد رقمي واحد، فيمثل كل هدف في الفراغ ثلاثي الأبعاد بعدد من النقاط وليس بنقطة واحدة مثلما هو الحال في الشكل رقم (٨، ٢). وربما تتداخل هذه النقاط مع بعضها. إن العملية التي يتم فيها جعل عنصر الصورة التي تحمل عدداً رقمياً واحداً ينتمي إلى

صنف معين من الظواهر الأرضية يطلق عليها عملية التصنيف. ومن أهم أنواع التصنيفات ما يسمى التصنيف المراقب والتصنيف غير المراقب، وفيما يلي نبذة عن كل منها [14]، [21]، [25].

(٨،٣) التصنيف المراقب Supervised Classification

وهو عملية تصنيف تبنى على معلومات عن الخصائص الطيفية للأهداف الأرضية في المنطقة المصورة سبق الحصول عليها من خلال زيارات ميدانية أو من خرائط أو من صور جوية تغطي المنطقة.

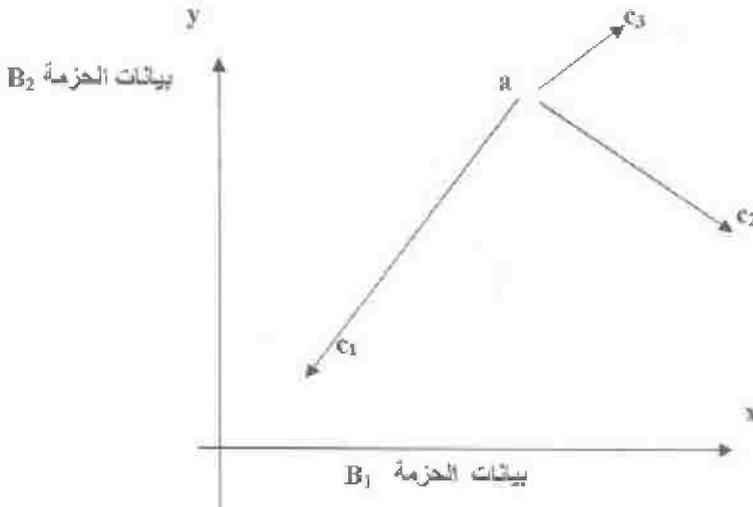
يبدأ محلل الصور بعرض الصورة على شاشة العرض ويحدد عليها مناطق مختارة لكل صنف من أصناف غطاء الأرض في المنطقة المعنية. وتسمى هذه المناطق المختارة مواقع تكوين الخبرة (training sites). ومن المفضل أن تكون موزعة على منطقة الدراسة وليست محصورة في جزء واحد منها. تستخدم مناطق تكوين الخبرة كأمثلة تدخل بياناتها لبرنامج التصنيف. ثم يتم حساب معاملات إحصائية من هذه البيانات ويتم مقارنة العدد الرقمي لكل عنصر صورة مع هذه المعاملات الإحصائية التي تمثل الأهداف الأرضية. فإذا وافق العدد الرقمي لعنصر الصورة خصائص أحد هذه الأهداف فإنها تنسب لذلك الهدف، ونكون بذلك قد صنفنا عنصر الصورة بالانتماء إلى أحد الأهداف التي تغطي سطح الأرض في منطقة الدراسة. ومن ثم يتم وضع رمز أو لون لكل منطقة تمثل أحد أصناف الغطاء الأرضي مما ينتج عنه خريطة موضوعية (thematic map). وهنالك تقنيات مختلفة لعمليات التصنيف الطيفي نكتفي بتقديم المبدأ الأساسي لثلاث منها.

(٨,٣, ١) التصنيف بطريقة المسافة الأقصر من الوسط

Minimum Distance Classifier

وتعتبر هذه الطريقة من أبسط طرق التصنيف. ونبدأ بإيجاد القيمة الطيفية (الرقم العددي) الوسطي لكل مجموعة من عناصر الصورة التي تمثل هدفاً أرضياً معيناً وذلك في كل من الحزم المصورة. ثم نحسب بعد عنصر الصورة التي نريد تصنيفها من القيمة الوسطى لكل مجموعة من الأهداف الأرضية، وننسب عنصر الصورة إلى الغطاء الأرضي الذي يكون هو أقرب إلى وسطه.

ولنفترض أننا استخدمنا حزمتين من الطيف هما الحزمة B_1 والحزمة B_2 . ومن البيانات المدخلة من منطقة تكوين الخبرة حددنا القيمة الوسطى لثلاثة أهداف أرضية في المنطقة هي الأهداف c_1 و c_2 و c_3 ممثلة بهذه القيم الوسطية كما هو في الشكل رقم (٨,٣). نحسب بعد عنصر الصورة a من مواقع مراكز الأهداف الثلاثة (c_1, c_2, c_3). ويتم حساب المسافة بين نقطتين في المستوى الديكارتي باستخدام نظرية فيثاغورس.



الشكل رقم (٨,٣). 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 عنصر الصورة a (x_a, y_a) والمركز c_i (حيث i=1,2,3) هي:

$$a-c_i = [(x_i - x_a)^2 + (y_i - y_a)^2]^{1/2} \quad (8.1)$$

مثال (٨, ١)

يبين الشكلين رقمي (٨, ٤) و (٨, ٥) بيانات صورة في الحزمة B1 والحزمة B2 على التوالي، ويبين الشكل رقم (٨, ٦) بيانات حقلية مرجعية تظهر اثنين من الأهداف الأرضية: نبات (V) وماء (W)، باستخدام طريقة المسافة الأقرب المطلوب تصنيف عناصر الصورة x1 و x2 و x3 ذات الإحداثيات:

x3 (3,1), x2 (2,3), x1 (1,1)

5	2	1
4	7	2
2	4	0

الشكل رقم (٨, ٤). بيانات الحزمة B1.

8	2	1
6	5	1
5	1	2

الشكل رقم (٨, ٥). بيانات الحزمة B2.

	V	
		W

الشكل رقم (٨, ٦). صورة البيانات الحقلية.

الحل

من البيانات الحقلية تحدد موقع صنفى النبات والماء في مستوى الإحداثيات ثنائي الأبعاد (محور الخزمة B1 ومحور الخزمة B2): النبات: $V(7,5)$ ؛ $W(0,2)$ ،
ثم نحدد إحداثيات عناصر الصورة المطلوب تصنيفها في نفس نظام الإحداثيات:

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

لاستخدام طريقة الجار الأقرب نحسب مسافة كل عنصر صورة مطلوب تصنيفه من موقع كل من صنف النبات والماء على النحو التالي:

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

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

إذن عنصر الصورة x1 هو أقرب مسافة إلى الصنف V ولذلك يصنف في الغطاء النباتي.

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

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

يتتمي عنصر الصورة x2 إلى الصنف W؛

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

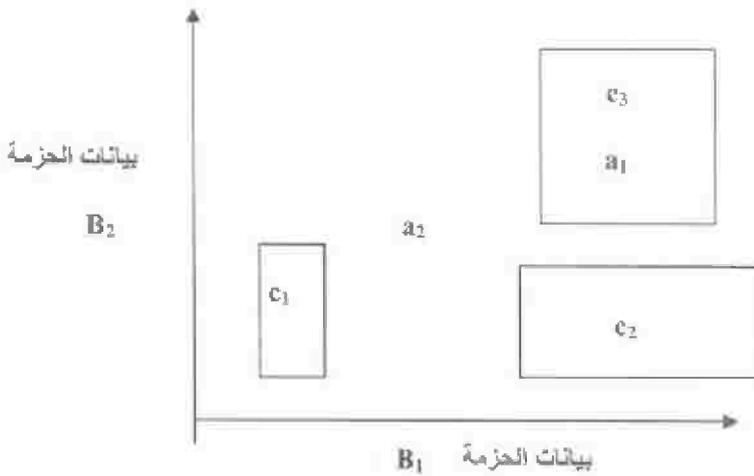
$$(34)^{1/2} = [(7-2)^2 + (2-5)^2]^{1/2} = W \text{ من الصنف } x3$$

وعليه فإن عنصر الصورة x3 يصنف في الصنف V إذ هو أقرب إليه من بقية الأصناف.

إن ميزة هذه الطريقة هي أنه لا بد من تصنيف كل عناصر الصورة، إذ أن كل عنصر صورة يلزم أن يكون أقرب إلى إحدى القيم الوسطية للأهداف الأرضية في المنطقة، إضافة إلى ذلك فهي الأسهل في عملية الحساب.

(٨,٣,٢) التصنيف بطريقة متوازيات السطوح Parallelepiped Classifier

في هذه الطريقة يتم تحديد أعلى وأدنى قيمة لكل صنف من الغطاءات في كل من حزم الطيف المستخدمة في التصوير، كما يمكن تمثيل ذلك بأشكال هندسية هي عبارة عن متوازيات سطوح. وتصنف كل وحدة صورة على حسب المتوازي الذي تقع فيه. ومن المحتمل أن تقع وحدة الصورة خارج كل المتوازيات وبالتالي تصنف بأنها مجهولة الهوية، أي أنها لا تنتمي لأي من الغطاءات الأرضية التي تعرفنا عليها من عملية التدريب. يوضح الشكل رقم (٨,٧) 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 رقم (٨,٧). طريقة التصنيف بمتوازيات السطوح.

مثال (٨,٢)

يبين الشكلين رقمي (٨,٨ و ٨,٩) بيانات الحزمة B1 والحزمة B2 على التوالي لصورة رقمية تغطي منطقة بها 5x5 من عناصر الصورة، كما يوضح الشكل رقم (٨,١٠) البيانات الحقلية (المرجعية) للمنطقة نفسها للغطاء النباتي V، والمطلوب:

- حدود قيم الأعداد الرقمية التي تمثل الغطاء النباتي في كل من الحزمتين (الحد للرقم الأدنى والحد للرقم الأعلى).

- الوسط الحسابي لمنطقة الغطاء النباتي في كل حزمة.

- تصنيف عناصر الصورة التي تنتمي للغطاء النباتي في كل من الحزمتين وذلك باستخدام بيانات الحقل وطريقة متوازيات السطوح أو الحدود الدنيا والقصى للأعداد الرقمية. ثم وضع 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 رقم (٨,٨). 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 رقم (٨,٩). بيانات الحزمة B2.

		V		
	V			
V				

الشكل رقم (٨,١٠). البيانات الحقلية للمنطقة المصورة.

الحل

من البيانات الحقلية في الشكل رقم (٨, ١٠) وبيانات الحزمة B1 في الشكل رقم (٨, ٨) والحزمة B2 في الشكل رقم (٨, ٩).

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 = $4 = (4 + 3 + 5)/3$

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

نتيجة تصنيف الحزمة B1:

√		√		
√	√	√		
√	√		√	
√	√			
√	√		√	

نتيجة تصنيف الحزمة B2:

√	√	√		
√	√	√		
√	√			
√	√	√		
√	√			

نتيجة التصنيف المتطابق من الحزمتين:

√		√		
√	√	√		
√	√			
√	√			
√	√			

Maximum Likelihood Classification (٨,٣,٣) تصنيف الاحتمالية العظمى

يعتبر التصنيف بطريقة الاحتمالية العظمى هو الأكثر استعمالاً في عمليات التصنيف الطيفي. والطريقة مبنية على أساس أن احتمال انتهاء عنصر الصورة لأي من أصناف الظواهر الأرضية متساوي. ويقتضى 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 وكلفة خاصة مع زيادة عدد حزم الطيف. وتعتمد هذه الطريقة على قاعدة باي Bay's rule. وفيما يلي توضيح خطوات الحصول على النموذج المستخدم:

إذا عبرنا عن مجموعة أصناف الظواهر على سطح الأرض في منطقة الدراسة بالحرف C ، حيث:

$$C = C_1, C_2, C_3, \dots, C_n \quad (8.2)$$

وحيث إن n هي العدد الكلي للأصناف، ثم إذا أخذنا عنصر صورة pixel ذو متجه x لمستوى الرمادية (وهو متجه تكون عناصره هي الأعداد الرقمية لعنصر الصورة في عدد x من الحزم الطيفية)، فإن احتمال انتهاء المتجه x إلى الصنف C_i يكون:

$$P(C_i | x) \quad (8.3)$$

حيث إن: $n = 1, 2, 3, \dots$ وإذا كان الاحتمال $P(C_i | x)$ معلوماً لكل صنف فبالإمكان حينئذ تحديد الصنف الذي ينتمي إليه عنصر الصورة ذات المتجه x وذلك بإجراء المقارنة بين الاحتمالات $P(C_i | x)$. ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً كما يلي:

إذا كان $P(C_i | x) > P(C_j | x)$ لكل $i \neq j$ فإن x ينتمي إلى الصنف C_i ، وبما أن قيمة الاحتمال $P(C_i | x)$ لا يمكن التعرف عليها مباشرة فيمكن تطبيق قاعدة باي، والتي نصها كالتالي: إذا افترضنا أن $P(C_i)$ هي نسبة احتمال أن الصنف C_i يوجد في

الصورة تحت التصنيف (و نطلق عليها الاحتمالية المسبقة)، وأن $P(x)$ هي نسبة احتمال انتهاء عنصر الصورة x إلى كل صنف C_i ، فيمكن وضع العلاقة التالية:

$$P(x) = \sum P(x | C_i) * P(C_i) \quad (8.4)$$

حيث إن i هي رقم صنف الهدف الأرضي من 1 إلى n ، وبما أن القيمة $P(x)$ غير مطلوبة في ذاتها لعملية التصنيف، إذ بالإمكان إلغاؤها من طرفي المعادلة عند مقارنة الاحتمالين: $P(C_1 | x)$ و $P(C_2 | x)$ والاحتمالات الشرطية التي يتطلب معرفتها للتصنيف هي: $P(x | C_i)$ حيث $i = 1, 2, \dots, n$ ، ولإيجاد الحل لهذه الاحتمالات الشرطية يمكن افتراض أن دالة توزيع شرط الاحتمال تكون ذات توزيع طبيعي (توزيع قاسوس)، وعليه يمكن تطبيق النموذج التالي للتوزيع الانتظامي:

$$P(x | C_i) = \{1 / [(2\pi)^{1/2} \sigma_i]\} \exp[-(x - \mu_i)^2 / (2 \sigma_i^2)] \quad (8.5)$$

في هذا النموذج نحتاج لإيجاد معاملين فقط لكل صنف هما: μ_i وهو المتوسط لبيانات الصنف C_i و σ_i وهو الانحراف المعياري لبيانات الصنف C_i ويمكن إيجاد كل من هذين المعاملين من عينة البيانات الحقلية.

كما يمكن تطبيق النموذج على النحو التالي إذا كان هنالك عدد nb من حزم

الطيف:

$$P(x | C_i) = \{1 / [(2\pi)^{nb/2} (|V_i|)^{1/2}]\} \exp[-0.5(x - \mu_i)^T V_i^{-1} (x - \mu_i)] \quad (8.6)$$

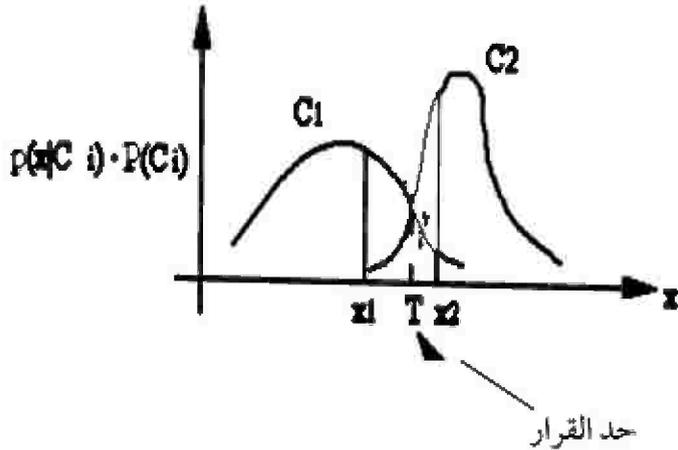
وفي هذا النموذج: μ_i هي متوسط بيانات المتجه C_i ، و V_i هي مصفوفة تمام التباين، أما $P(C_i)$ فيمكن إيجادها من المعرفة المسبقة لمنطقة الدراسة، وإلا فمن الممكن أن نفترض أن لكل صنف نفس نسبة احتمال الحدوث، بمعنى:

$$P(C_1) = P(C_2) = \dots = P(C_n)$$

وبمعرفة كل من نسبة الاحتمال $P(x | C_i)$ و $P(C_i)$ يمكن تطبيق تصنيف

الاحتمالية العظمى.

ويمكن المقارنة بين $P(x | C_i)$ و $P(C_i)$ لكل الأصناف من 1 إلى n كبديل لإيجاد $P(C_i | x)$ في التعرف على تحديد الصنف الذي ينتمي إليه عنصر الصورة x. الشكل رقم (٨, ١١) يوضح تطبيق هذا التصنيف: فعنصر الصورة x_1 يصنف تبعاً للصنف C_1 إذا كانت $P(x | C_1) * P(C_1)$ هي القيمة القصوى، ففي هذا الشكل يصنف عنصر الصورة x_1 تبعاً للصنف C_1 كما يصنف عنصر الصورة x_2 تبعاً للصنف C_2 ، وتمثل نقطة تساوي الاحتمالين (تقاطع المنحنيين) الحد الفاصل بين الصنفين كما يظهر ذلك في الشكل رقم (٨, ١١).



الشكل رقم (٨, ١١). التصنيف بطريقة الاحتمالية العظمى [25].

ولتبسيط العمليات الحسابية يمكن استخدام لوغاريثم الدالة لتصبح:

$$\text{Log} \{P(x | C_i) \cdot P(C_i)\} = - (nb/2) \text{Log } 2\pi - 0.5 \text{Log } |V_i| - 0.5 (x - \mu_i)^T - V_i^{-1}(x - \mu_i) + \text{Log } (P(C_i)) \quad (8.7)$$

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

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

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

$$g(x) = -\text{Log } |V| - (x - \mu_i)^T V_i^{-1} (x - \mu_i) \quad (8.9)$$

وبمقارنة قيم $g(x)$ نستطيع تصنيف عنصر الصورة x بوضعه في الصنف الذي ينتمي إليه. ومن الضروري التأكد من أن بيانات العينة تخضع للتوزيع الطبيعي ويستوجب ذلك أن تكون العينة كبيرة (عشرات أضعاف عدد الحزم الطيفية المستخدمة في التصنيف) والأفضل أن تكون موزعة في منطقة الدراسة ولا تتركز في جزء معين منه.

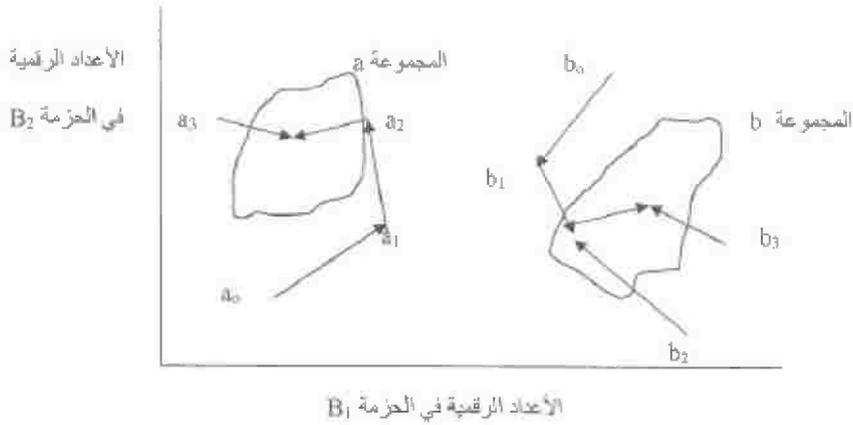
(٨، ٤) التصنيف غير المراقب *Unsupervised Classification*

لا تستخدم في هذه التقنية معلومات مسبقة عن منطقة الدراسة، وذلك يعني أنه لا توجد إمكانية لتقدير موقع الوسط المركزي للأصناف المختلفة من غطاءات الأرض. وقد يكون هنالك عدم معرفة حتى بعدد الأهداف الأرضية في منطقة الدراسة؛ وإنما يتم فيها استخدام خوارزميات لتجميع 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. وتكون المرحلة الثانية تحديد هوية الغطاء الأرضي الذي يمثل كل مجموعة من مجموعات عناصر

الصورة ذات الخصائص الطيفية المتماثلة. تتم هذه العملية باستخدام ما يعرف بالأدوات الذاتية أي بما لدى محلل البيانات من معلومات عن الأهداف الأرضية في منطقة الدراسة ولذلك يطلق على هذا النوع من التصنيف "التصنيف الذاتي" أو "التصنيف غير المراقب". وسنقوم بتوضيح إحدى عمليات التصنيف غير المراقب من خلال المثال التالي.

يوضح الشكل رقم (٨، ١٢) مجموعتين من عناصر الصورة، تم توقيع عناصر هذه الصورة على نظام إحداثيات ثنائي الأبعاد يمثل المحور الأفقي فيه الأعداد الرقمية لعناصر الصورة في صورة الحزمة الطيفية B_1 والمحور الرأسي الأعداد الرقمية لعناصر الصورة في صورة الحزمة الطيفية B_2 . إن المركز الأوسط لكل من المجموعتين مجهول الموقع. نختار عشوائياً نقطتين a_0 و b_0 ليكونا المركزين الواسطين لكل من مجموعة عناصر الصورة a و b على التوالي. سنستخدم قانون المسافة الأقصر للمركز لتحديد الهوية الطيفية لكل وحدة صورة. ولتطبيق ذلك نحسب المسافة بين عنصر الصورة وبين كل من المركزين a_0 و b_0 فأيهما كانت أقرب يتم انتساب عنصر الصورة لها. ويمكن الاكتفاء بحساب مربع المسافة بدل المسافة. فإذا كان مربع المسافة من عنصر الصورة إلى المركز a_0 أقل من مربع المسافة من عنصر الصورة إلى المركز b_0 فإن هذا العنصر يعتبر تابعاً للمجموعة a ، وإلا فسوف يتبع للمجموعة b . ونكون بذلك قد شكلنا مجموعتين جديدتين، فنحسب موقع المركز الأوسط لكل مجموعة، ولنفترض أنهما a_1 و b_1 . ثم نعيد استخدام قانون المسافة الأقصر لإعادة تشكيل المجموعتين ومن ثم حساب موقع المركز الأوسط لكل منهما، ولنفترض أنهما a_2 و b_2 على التوالي. وتستمر هذه العملية حتى نصل مرحلة لا يكون هنالك تغيير في موقع المركز الأوسط لكل من المجموعتين. وبذلك يكون قد تم في هذه المرحلة تصنيف

عناصر الصورة إلى مجموعتين لكل منهما خصائص طيفية متقاربة أو مشتركة. ويمكن أن يتم تطبيق هذه الطريقة نفسها لتصنيف عناصر الصورة إلى أي عدد من المجموعات ذات الخصائص الطيفية المشتركة كما يمكن استخدام أي عدد من الحزم الطيفية.



الشكل رقم (١٢، ٨). التصنيف غير المراقب بطريقة التجميع.

(٨، ٥) تقييم دقة التصنيف Accuracy Assessment of Classification

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

وفي هذه العملية يمكن اختيار عدد من عناصر الصورة بطريقة عشوائية ومقارنة نتائج تصنيفها مع معلومات عن المنطقة يمكن الحصول عليها من الصور

الجوية أو الخرائط ذات المقياس الكبير أو يعمل ميداني يقوم فيه محلل الصور بالتعرف على ما تمثله وحدة الصورة المصنفة (وتمثل نتائج هذا العمل الميداني قاعدة البيانات الأرضية لمنطقة الدراسة)، ثم عقد مقارنة بين هذه المعلومات الميدانية ونتائج التصنيف. فإذا كانت نتيجة تصنيف عنصر الصورة تتطابق مع ما تمثله على الأرض حسب المعلومات التي تم الحصول عليها من العمل الميداني يكون تصنيف عنصر الصورة صحيحاً، وإذا اخترنا عدداً معتبراً من عناصر الصورة (يمثل نسبة كبيرة من الصورة) وموزعاً توزيعاً جغرافياً مناسباً على الصورة فإن نتيجة تحليل دقة هذه العينة من عناصر 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*، ويطلق عليها جدول الشك "contingency table"، وهي مصفوفة تتكون عناصرها من أرقام تمثل عدد عناصر الصورة المختارة لتحليل الدقة لتمثل كل ظاهرة على سطح الأرض من نتائج التصنيف ومن قاعدة البيانات الأرضية (البيانات المرجعية "reference data")، فنضع عدد عناصر الصورة المصنفة لكل ظاهرة أرضية في صف من صفوف المصفوفة، ونضع عدد عناصر الصورة من البيانات المرجعية لكل ظاهرة أرضية في عمود من أعمدة المصفوفة. والمصفوفة أدناه على سبيل المثال تمثل منطقة دراسة فيها من الظواهر الأرضية غطاء نباتي (V) ومسطح مائي (W) ومنطقة مباتي (U):

الخطأ	مجموع الصفوف	U	W	V	الصنف
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 (20, 15, 28) إلى عدد العينات التي تتطابق فيها نتائج التصنيف مع البيانات المرجعية. وتمثل العناصر غير القطرية في كل صف: (1, 1, 1, 5, 14, 15) عدد عناصر الصورة من عينة الاختبار التي تم تصنيفها خطأ (وضعت تبعاً لتصنف لا تمثله حقيقة) ويطلق عليه خطأ التصنيف commission error، وتمثل عناصر المصفوفة غير القطرية في كل عمود: (1, 1, 14, 1, 15, 5) عدد عناصر الصورة التي أهملها المصنف أي حذفها ولم يضعها مع أي من الأصناف الثلاثة ويطلق على هذا الخطأ خطأ الحذف omission error. ويمكن حساب الدقة الكلية (σ_t) من حاصل قسمة مجموع عناصر الصورة التي تطابقت في التصنيف مع البيانات المرجعية على مجموع عناصر الصورة المختبرة:

$$\sigma_t = (28 + 15 + 20) / 100 = 63\% \quad (8.10)$$

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. ولدراسة دقة كل مجموعة منفردة فيمكن استخدام دقة المستخدم (user's accuracy) أو دقة المنتج (producer's accuracy) كما يلي:

$$\text{دقة المستخدم (دخ)} =$$

عدد عناصر الصورة التي صنفت تصنيفاً صحيحاً ÷ مجموع عناصر الصورة في الصف.

وتسمى دقة المستخدم لأن المستخدم تهمة النسبة من عناصر الصورة التي صنفت تصنيفاً صحيحاً.

$$\text{دقة المنتج (دت)} =$$

عدد عناصر الصورة التي صنفت تصنيفاً صحيحاً ÷ مجموع وحدات الصورة في العمود.

وتسمى دقة المنتج لأن المنتج يهتم بدقة تصنيف العينات المرجعية.

ويلاحظ أن دقة تصنيف المفردات يمكن التعبير عنها بخطأ التصنيف وخطأ الحذف:

$$\text{خطأ التصنيف} = 1 - \text{دقة المستخدم}$$

(8.11)

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

وكذلك يمكن التعرف على دقة التصنيف باستخدام معامل كابا (kappa coefficient) (k)، والذي يستخدم لقياس العلاقة بين الاتفاق المتوقع لاحقاً (beyond chance agreement) وعدم الاتفاق (الاختلاف) المتوقع (expected disagreement). وتستخدم في إيجاد كل عناصر مصفوفة دقة التصنيف، وليس فقط العناصر القطرية في المصفوفة.

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

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

$$\text{وأن مجموع عناصر الأعمدة } z \text{ في الصف } i \text{ هي } x_{i+}$$

$$\text{ومجموع عناصر الصفوف في العمود } z \text{ هي } x_{+z}$$

إذن تقدير قيمة المعامل كابا هي:

$$k = [N \sum x_{ii} - \sum x_{i+} x_{+i}] / [(N^2 - \sum x_{i+} x_{+i})] \quad (8.12)$$

وإذا كانت قيمة k تساوي 0 فذلك يعني عدم الاتفاق، بينما تشير قيمة k=1 إلى

الاتفاق التام بين نتائج التصنيف والبيانات المرجعية.

وقد اقترح مونستر وليانسن [27] في دراسة عن تقييم دقة التصنيف باستخدام

معامل كابا أن تكون قيمة $k = 0.75$ وأعلى لأن هذه القيمة تعطي نتائج جيدة جدًا في

التصنيف. وإذا كانت قيمة k أقل من 0.4 فذلك مؤشر لدقة متواضعة وربما غير مقبولة

في عملية التصنيف.

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

مثال (٨,٣)

يبين الجدول التالي مصفوفة خطأ التصنيف لتصنيف ثلاثة أهداف أرضية هي: U منطقة حضرية، W مسطحات مائية، V مناطق زراعية:

U	W	V	الصف
4	6	28	V
2	16	2	W
20	2	3	U

المطلوب حساب دقة المستخدم ودقة المنتج والدقة الكلية وقيمة المعامل كبا k ؟

الحل

نضيف إلى الجدول عمودين يمثل أحدهما مجموع الصفوف ودقة المستخدم، كما نضيف صفين يمثل أحدهما مجموع الأعمدة والآخر دقة المنتج، فنحصل على الجدول التالي:

دقة المستخدم	مجموع الصفوف	U	W	V	الصف
74%	38	4	6	28	V
80%	20	2	16	2	W
80%	25	20	2	3	U
	83	26	24	33	مجموع الأعمدة
		77%	67%	85%	دقة المنتج

ومن الجدول:

$$\sum x_{ij} + x_{ti} = 33 \times 38 + 24 \times 20 + 25 \times 26 = 2384$$

مجموع عدد العناصر في الصورة:

$$N = 83$$

$$N^2 = 6889$$

$$\sum x_{ij} = 28 + 16 + 20 = 64$$

$$\sum x_{ij} = 83 \times 64 = 5312 \quad N \times$$

المعامل كإبأ:

$$(K = (5312 - 2384) / (6889 - 2384))$$

$$= 0.65$$

الدقة العامة للتصنيف:

$$\sigma_t = (64 / 83) \times 100$$

$$= 77 \%$$

وذلك يشير إلى أنه ليس هنالك توافقاً تاماً بين بيانات التصنيف والبيانات المرجعية، إلا أن النتيجة يمكن قبولها.

لقد تطورت تقنيات تصنيف الصور الرقمية بفضل التقدم الهائل الذي حدث في تقنيات الحاسوب وخاصةً من ناحية السعة التخزينية وأساليب البرمجة. وقد ظهرت برامج ذات كفاءة عالية في عمليات معالجة الصور الرقمية من ناحية عامة وبالأخص في مجال التصنيف. ومن بين هذه البرامج وأكثرها استخداماً برنامج إيرداس ERDAS [14],[23] وبرنامج انفي ENVI [14].

هذا وقد تم استخدام عمليات تصنيف الصور الرقمية الفضائية في مشاريع عديدة وتطبيقات مختلفة وذلك لما تحتويه من معلومات قيمة في مجالات علوم الأرض مثل الجيولوجيا والتربة والمياه والزراعة والغابات بالإضافة إلى التطبيقات في المجالات الهندسية والعمليات العسكرية. وللمزيد من التفصيل في هذه التطبيقات يمكن الرجوع إلى المراجع التالية: [14],[17],[21],[28].

(٨, ٦) تمارين

(٨, ٦, ١) وضح الفرق بين التصنيف المراقب والتصنيف غير المراقب.

(٨, ٦, ٢) يوضح الشكل التالي صورة رقمية من حزمتين B1 و B2:

B1		
9	6	4
8	5	6
7	9	5

B2		
9	6	8
3	7	6
2	5	7

ويوضح الشكل التالي البيانات المرجعية لذات المنطقة في الصورتين:

		U
	U	U
V	V	U

حيث إن الحرف U يمثل منطقة حضرية والحرف V يمثل منطقة نباتات.

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

(٨, ٦, ٣) لبيانات الصورتين والبيانات المرجعية المعطاة في السؤال الثاني أعلاه:

(أ) أحسب الحد الأدنى والحد 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.

(ج) استخدم طريقة متوازيات السطوح لتصنيف وحدات الصورة التي تمثل

الغطاء الحضري في كل من الحزمتين.

(د) وضح المنطقة التي تتطابق فيها نتيجة تصنيف الحزمتين.

(٨, ٦, ٤) 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 وخطأ الحذف.

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

(٥, ٦, ٨) وضح الفرق بين دقة المستخدم ودقة المنتج.

(٦, ٦, ٨) يبين الشكل A والشكل B بيانات الحزمة B1 والحزمة B2 على التوالي لصورة رقمية تغطي منطقة بها 3x3 من عناصر الصورة، كما يوضح الشكل C البيانات الحقلية (المرجعية) للمنطقة نفسها للغطاء النباتي V، والمطلوب:

١- حدود قيم الأعداد الرقمية التي تمثل الغطاء النباتي في كل من الحزمتين (الحد للرقم الأدنى والحد للرقم الأعلى).

٢- الوسط الحسابي لمنطقة الغطاء النباتي في كل حزمة.

٣- تصنيف عناصر الصورة التي تنتمي للغطاء النباتي في كل من الحزمتين وذلك باستخدام بيانات الحقل وطريقة متوازيات السطوح أو الحدود الدنيا والقصى للأعداد الرقمية.

9	6	4
8	6	6
7	9	8

9	6	8
3	4	6
7	5	7

	U	
V	V	

المراجع

References

أولاً: المراجع العربية

- [١] العنقري، خالد محمد، "الاستشعار عن بعد وتطبيقاته في الدراسات المكانية"، شركة العبيكان للطباعة والنشر، الرياض، المملكة العربية السعودية، ١٩٨٦.
- [٢] أبو ريشة، علي وفا عبد الرحمن. "أسس تقنيات الاستشعار عن بعد" مركز دراسات الصحراء، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية، ١٩٩٣.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- [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] 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.
- [5] Jensen, J. R., "Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective," *Prentice Hall, New Jersey, USA*, 2005.

- [6] Schowengerdt, R. A., "Remote Sensing Models and Methods for Image Processing," *Academic Press*, Burlington, MA, USA, 1997.
- [7] Sabins, F. F. Jr., "Remote Sensing Principles and Interpretation," *W. H. Freeman and Co.*, New York, USA, 1997.
- [8] 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.
- [9] Digital Globe, "Images for the Media", www.digitalglobe.com/sample_imagery.shtml, 2004.
- [10] Short, N. M., "Remote Sensing Tutorial", www.rst.gsfc.nasa.gov,
- [11] USGS, "Earth Shots", www.earthshots.usgs.gov/Riyadh/1990.
- [12] Mather, P.M., "Computer Processing of Remotely Sensed Images," *John Wiley and Sons*, New York, USA, 2004.
- [13] Haring, R. "Introduction to Digital Electronics," www.watson.ibm.com/leo/Introelect/IntroElectro_adder.htm, 2003.
- [14] Sanchez, J. and M. P. Canton, "Space Image Processing," *CRC Press*, New York, USA, 1999.
- [15] Avery T. E. and G. L. Berlin, "Fundamentals of Remote Sensing and Air Photo Interpretation," *MacMillan*, New York, USA, 1992.
- [16] Baxes, A. G. "Digital Image Processing," *John Wiley and Sons*, New York, USA, 1994.
- [17] Castleman, K. R., "Digital Image Processing," *Prentice Hall Inc.*, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1995.
- [18] Ekstrom, M.P. "Digital Image Processing Techniques," *Academic Press Inc.*, New York, USA, 1984.
- [19] Richards, J. A. and X. Jia, "Remote Sensing Digital Image Analysis," *Springer-Verlag*, Berlin, Germany, 1999.
- [20] Russ, J. C., "The Image Processing Handbook," *CRC Press Inc.*, Boca Raton, USA, 1995.
- [21] ERDAS, Inc., "ERDAS Tour Guides," *ERDAS Imagine*, Atlanta, Georgia, USA, 1999
- [22] Center for GIS, Towson University, "Remote Sensing Principles: Image , , www.chesapeake.towson.edu/data Processing", 1991.
- [23] P. Gong, "Remote Sensing and Image Analysis", www.nature.berkeley.edu
- [24] Congalton, R. "A Review of Assessing the Accuracy of Classification of Remotely Sensed Data", *Remote Sensing of Environment*, No.37, pp. 35-46, 1991

- [25] Mentesrud, R. A. and Leamans, R., "Comparing Global Vegetation Maps with the Kappa Statistics", *Ecological Modelling*, No.62, pp. 275-293, 1992.
- [26] 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.

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي - إنجليزي



Random Noise	التشويش التشتتي
Systematic Errors	الأخطاء المنتظمة
Passive Remote Sensing	الاستشعار السلبي (الخامل)
Active Remote Sensing	الاستشعار عن بعد النشط
Bilinear Interpolation	الاستنباط الخطي المزدوج
Radiation	إشعاع
Absorbed radiation	الأشعة الممتصة
Emitted Radiation	الأشعة المنبعثة
Transmitted Radiation	الأشعة النافذة
Scattered Radiation	الأشعة المنتشرة
De-stripping	إعادة الشريط
Re-sampling	إعادة بناء عنصر الصورة
Digital Numbers	الأعداد الرقمية

Diskettes	أقراص مغططة
Solid State Camera	آلة التصوير المستقرة
Additive Colors	الألوان المضافة
ب	
Spectral Signature	البصمة الطيفية
Reference Data	البيانات المرجعية
ت	
Contrast	التباين
Variance	التباين
Density Slicing	تجزئة الكثافة
Enhancement	تحسين
Image Enhancement	تحسين الصورة الرقمية
Color Enhancement	التحسين اللوني
Spatial Enhancement	التحسين المكاني
Image Multiplication Transformation	تحويل الصورة الرقمية بعمليات الضرب
Image Division Transformation	تحويل الصورة بعمليات القسمة
Complex Ratio Transformation	التحويل بالنسب المركبة
Hue	التدرج اللوني
High Spatial Frequency	التردد الفراغي العالي
Spatial Frequency	التردد المكاني
Spatial Filtering	الترشيح المكاني
Image Restoration	ترميم (تصحيح) الصورة الرقمية

Threshold Value	التسامح
Band Sequence	تسلسل الحزم
Histogram Equalization	تسوية المدرج التكراري
Saturation	التشبع
Geometric Distortion	التشوه الهندسي
Systematic Noise	التشويش المنتظم
Classification	التصنيف
Maximum Likelihood Classification	تصنيف الاحتمالية العظمى
Image Classification	تصنيف الصورة الرقمية
Supervised Classification	التصنيف المراقب
Minimum Distance Classification	تصنيف المسافة الأقصر
Parallel-piped Classification	التصنيف بطريقة متوازيات السطوح
Unsupervised Classification	التصنيف غير المراقب
Amplification	التقوية
Accuracy Assessment	تقييم الدقة
Piecewise Contrast Stretch	تمديد التباين التجزيئي
Linear Contrast Stretch	تمديد التباين الخطي
Resolution	التمييز
Radiometric Resolution	التمييز الإشعاعي
Temporal Resolution	التمييز الزمني
Spectral Resolution	التمييز الطيفي
Spatial Resolution	التمييز المكاني
Normal Distribution	التوزيع المنتظم (الطبيعي)



Nearest Neighbor

الجار الأقرب

Data Acquisition

جمع البيانات

Charged Couple Device

جهاز الشحن المزدوج



Band Interleaved

الحزم المتداخلة

Band Interleaved by pixel

الحزم المتداخلة بوحدة الصورة

Band Interleaved by line

الحزم المتداخلة خطياً



Thematic Maps

الخرائط الموضوعية

Omission Error

خطأ الحذف



Discrimination Function

دالة التمييز

Nonlinear Function

الدالة غير الخطية

Accuracy

الدقة

User's Accuracy

دقة المستخدم

Producer's Accuracy

دقة المنتج

Data Merging

دمج البيانات



Scatter Graph

الرسم البياني الانتشاري (التشتتي)

ش

Light Intensity

شدة الإضاءة

Fractures

شقوق

ص

Faults

صدوع أو فوالق

Linear Array

الصفوف الخطية

ط

Cubic Convolution

الطي التكميبي

ع

Arithmetic Operation

العمليات الحسابية

Ground Pixel

العنصر الأرضي

غ

Atmosphere

الغلاف الجوي

ف

Cartridge

فيلم ملفوف

ق

Contingency Table

قائمة الشك

Optical Disc

قرص ضوئي

Quick Bird Satellite

القمر الصناعي (كويك بيرد)

Eigen Value

القيمة الذاتية



Thematic Mapper

ماسح الخرائط الموضوعية

Thematic Scanner

الماسح الموضوعي

Eigen Vector

المتجه الذاتي

Instantaneous Field of View

مجال الرؤية الآني

Contrast Stretch

مد التباين

Histogram

المدرج (المنحنى) التكراري

Filter

مرشح

Secondary Component

المركب الثانوي

Principal Components

المركبات الأساسية

Electronic Sensor

المستشعر الإلكتروني

Active Sensor

المستشعر النشط

Multispectral Scanner

المسح متعدد الأطياف

Error Matrix

مصفوفة الأخطاء

Correlation Matrix

مصفوفة الارتباط

Variance-Covariance Matrix

مصفوفة التباين وتغايم التباين

Covariance Matrix

مصفوفة تمام التباين

Pre Processing

المعالجة الأولية

Post Processing

المعالجة اللاحقة

Bell Shaped Curve

منحنى ناقوسي الشكل



Spectral Bands

Binary System

النطاقات (الحزم) الطيفية

النظام الثنائي

ثانياً: إنجليزي - عربي

A

Absorbed radiation	الأشعة الممتصة
Accuracy	الدقة
Accuracy Assessment	تقييم الدقة
Active Sensor	المستشعر النشط
Active Remote Sensing	الاستشعار عن بعد النشط
Additive Colors	الألوان المضافة
Amplification	التقوية
Arithmetic Operation	العمليات الحسابية
Atmosphere	الغلاف الجوي

B

Band Interleaved	الحزم المتداخلة
Band Interleaved by line	الحزم المتداخلة خطياً
Band Interleaved by pixel	الحزم المتداخلة بوحدة الصورة
Band Sequence	تسلسل الحزم
Bell Shaped Curve	منحنى ناقوسي الشكل
Bilinear Interpolation	الاستنباط الخطي المزدوج
Binary System	النظام الثنائي

C

Cartridge	فيلم ملفوف
Charged Couple Device	جهاز الشحن المزدوج

Classification	التصنيف
Color Enhancement	التحسين اللوني
Complex Ratio Transformation	التحويل بالنسب المركبة
Contrast	التباين
Contrast Stretch	مد التباين
Contingency Table	قائمة الشك
Correlation Matrix	مصفوفة الارتباط
Covariance Matrix	مصفوفة تمام التباين
Cubic Convolution	الطي التكعيبي

D

Data Acquisition	جمع البيانات
Data Merging	دمج البيانات
Density Slicing	تجزئة الكثافة
De-stripping	إعادة الشريط
Digital Numbers	الأعداد الرقمية
Discrimination Function	دالة التمييز
Diskettes	أقراص ممغنطة

E

Eigen Value	القيمة الذاتية
Eigen Vector	المتجه الذاتي
Electronic Sensor	المستشعر الإلكتروني
Emitted Radiation	الأشعة المنبعثة

Enhancement

تحسين

Error Matrix

مصنوفة الأخطاء

F

Faults

صدوع أو فوالق

Filter

مرشح

Fractures

شقوق

G

Geometric Distortion

التشوه الهندسي

Ground Pixel

العنصر الأرضي

H

High Spatial Frequency

التردد الفراغي العالي

Histogram

المدرج (المنحنى) التكراري

Histogram Equalization

تسوية المدرج التكراري

Hue

التدرج اللوني

I

Image Classification

تصنيف الصورة الرقمية

Image Division Transformation

تحويل الصورة بعمليات القسمة

Image Enhancement

تحسين الصورة الرقمية

Image Multiplication Transformation

تحويل الصورة الرقمية بعمليات الضرب

Image Restoration

ترميم (تصحيح) الصورة الرقمية

Instantaneous Field of View

مجال الرؤيا الآني

L

Light Intensity	شدة الإضاءة
Linear Contrast Stretch	تمديد التباين الخطي
Linear Array	الصفوف الخطية

M

Maximum Likelihood Classification	تصنيف الاحتمالية العظمى
Minimum Distance Classification	تصنيف المسافة الأقصر
Multispectral Scanner	المسح متعدد الأطياف

N

Nearest Neighbor	الجار الأقرب
Nonlinear Function	الدالة غير الخطية
Normal Distribution	التوزيع المنتظم (الطبيعي)

O

Omission Error	خطأ الحذف
Optical Disc	قرص ضوئي

P

Passive Remote Sensing	الاستشعار السلبي (الخامل)
Parallel-piped Classification	التصنيف بطريقة متوازيات السطوح
Piecewise Contrast Stretch	تمديد التباين التجزيئي
Post Processing	المعالجة اللاحقة
Pre Processing	المعالجة الأولية
Principal Components	المركبات الأساسية

Producer's Accuracy

دقة المنتج

Q

Quick Bird Satellite

القمر الصناعي (كويك بيرد)

R

Radiometric Resolution

التمييز الإشعاعي

Radiation

إشعاع

Random Noise

اتشويش التشتتي

Reference Data

البيانات المرجعية

Resolution

التمييز

Re-sampling

إعادة بناء عنصر الصورة

S

Saturation

التشبع

Scatter Graph

الرسم البياني الانتشاري (التشتتي)

Scattered Radiation

الأشعة المنتشرة

Secondary Component

المركب الثانوي

Solid State Camera

آلة التصوير المستقرة

Spatial Resolution

التمييز المكاني

Spatial Enhancement

التحسين المكاني

Spatial Filtering

الترشيح المكاني

Spatial Frequency

التردد المكاني

Spectral Bands

النطاقات (الحزم) الطيفية

Spectral Resolution

التمييز الطيفي

Spectral Signature	البصمة الطيفية
Supervised Classification	التصنيف المراقب
Systematic Errors	الأخطاء المنتظمة
Systematic Noise	التشويش المنتظم

T

Temporal Resolution	التمييز الزمني
Thematic Maps	الخرائط الموضوعية
Thematic Mapper	ماسح الخرائط الموضوعية
Thematic Scanner	الماسح الموضوعي
Transmitted Radiation	الأشعة النافذة
Threshold Value	التسامح

U

Unsupervised Classification	التصنيف غير المراقب
User's Accuracy	دقة المستخدم

V

Variance	التباين
Variance-Covariance Matrix	مصفوفة التباين وتعام التباين