

تحويل الصور الرقمية Image Transformation

(٧، ١) مقدمة

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 الفصل سنتحدث عن معالجة الصور الرقمية ذات الحزم الطيفية المتعددة أو الصور ذات النطاق الطيفي الفردي ولكنها مأخوذة للموقع نفسه في أوقات مختلفة.

إن مصطلح "تحويل الصورة الرقمية" يقصد به تغيير قيم البيانات الرقمية الأصلية لعناصر الصورة بقيمة 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 والطرح والضرب والقسمة وتطبيق نماذج رياضية معينة. والطريقة الثانية تعرف "بطرق التحويل التجريبية" (empirical transformation methods) مثل

تحويل المركبات الأساسية (principal components) وتحويل الألوان والتدرج الإشعاعي.

(٧, ٢) التحويل بالعمليات الحسابية Arithmetic Operations

تجرى العمليات الحسابية من جمع وطرح وضرب وقسمة 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 للمنطقة الجغرافية نفسها.

(٧, ٢, ١) 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 التشويش، كما وأن 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:

$$G(x,y) = F(x,y) + N(x,y) \quad (7.1)$$

حيث إن $G(x,y)$ = العدد الرقمي الأصلي لعنصر الصورة ذي الموقع (x,y) في الصورة

$$F(x,y) = \text{العدد الرقمي الحقيقي لعنصر الصورة } (x,y),$$

$$N(x,y) = \text{مركب التشويش العشوائي في عنصر الصورة } (x,y),$$

ويمكن أن نتوقع أن تأخذ قيمة التشويش $N(x,y)$ للعناصر المكونة للصورة شكل التوزيع الطبيعي (normal distribution) حول الوسط 0 حيث إنها عبارة عن مجموع الأخطاء غير المرتبطة أو الناتجة من عوامل قليلة الأهمية. وعليه فإن جمع صورتين منفصلتين للمنطقة نفسها في وقت مختلف يمكن أن يؤدي إلى إزالة

الضجيج. ويمكن تفسير ذلك بأن القيمة الأصلية للعدد الرقمي لعنصر الصورة (x,y) وهي $F(x,y)$ في كل من الصورتين ستكون قيمة ثابتة وقيمة التشويش $N(x,y)$ يمكن أن تكون موجبة كما يمكن أن تكون سالبة.

إذا جمعنا العدد الرقمي $G_1(x,y)$ لعنصر الصورة (x,y) في الصورة الأولى مع العدد الرقمي $G_2(x,y)$ لعنصر 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، وإذا كان جهاز عرض الصورة له مقدار وضوح ثابت قيمته 8 بت فإن الناتج المشار إليه سيكون غير عملي. ولذلك يتم قسم ناتج الجمع على اثنين (أي إيجاد المتوسط) لتخفيض المدى إلى 0 - 255 مرة أخرى. ويستخدم النموذج التالي في عملية الجمع:

$$G_{SUM}(x,y) = [G_1(x,y) + G_2(x,y)] / 2 \quad (7.2)$$

ويقرب الناتج إلى أقرب عدد صحيح.

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

$$G_{SUM}(x,y) = [G_1(x,y) + G_2(x,y) - a] / d \quad (7.3)$$

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

(٧، ٢، ٢) التحويل بعملية الطرح Image Subtraction

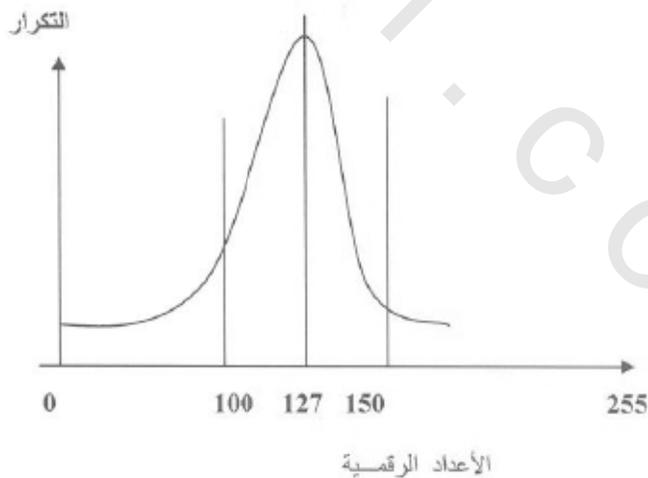
إن الهدف من عملية طرح الأعداد الرقمية لعناصر الصورة المتقابلة في صورتين أخذنا لنفس المنطقة في وقت مختلف هو تقييم التغير الذي يكون قد حدث في المنطقة بين فترتي التقاط الصورتين. إذا افترضنا أن المدى الرمادي (الأعداد الرقمية) لكل من

الصورتين يتراوح بين 0 و255 فإن أقصى فرق بالسالب بين عددين رقميين سيكون -255 (وهو حاصل طرح الرقم 255 من الرقم 0)، وأقصى فرق موجب يكون 255. وعليه فإن الحاجة لإعادة تدرج المدى الرمادي للصورة الناتجة من الطرح تظل موجودة ويجب حلها حتى يكون المدى الرمادي للصورة الناتجة بين 0 و255.

إذا أضفنا القيمة 255 إلى حاصل الطرح يصبح المدى 0-510 ثم إذا قسمنا الناتج على 2 نحصل على المدى 0-255، ويكون التحويل بالطرح على هيئة النموذج التالي:

$$G_{DIF} = [255 + G_1(x,y) - G_2(x,y)] / 2 \quad (7.4)$$

كذلك يمكن استخدام معامل الإزاحة a ومعامل 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 وينحدر إلى الجانبين انحداراً حاداً (الشكل رقم ٧, ١). وتمثل القمة 127 عناصر الصورة التي لم يحدث عندها تغييراً كبيراً، في حين أن عناصر الصورة في طرفي المنحنى تمثل تلك التي حدث فيها تغييراً ملحوظاً.



الشكل رقم (٧, ١). شكل المنحنى التكراري للصورة الناتجة بعد الطرح.

ويمكن تجزئة المنحنى واعتبار الأعداد الرقمية القريبة من 127 وتحديدتها كما في الشكل رقم (٧، ١) بالرقمين 100 و150 على سبيل المثال باعتبارها هي عناصر الصورة التي لم يحدث عندها تغييرًا كبيراً في الفترة الزمنية بين التقاط الصورتين، واعتبار طرفي المنحنى هما المنطقتان اللتان حدث فيهما تغييرًا كبيراً وتحديدتهما بالأعداد الرقمية بين 0 و100 وبين 150 و255 كما هو واضح في الشكل رقم (٧، ١). ويمكن إبراز عناصر الصورة ذات الأعداد الرقمية الطرفية بالأبيض وإبراز الأرقام الطرفية القريبة من القيمة الوسطى بالأسود للتفريق بين المنطقتين في الصورة. أما اختيار قيم الحدود للأعداد الرقمية التي تفصل بين مناطق التغير وغيره فتتم اختيارياً بواسطة المحلل وبعد عمليات تجريبية يستخدم فيها خبرته.

(٧، ٢، ٣) التحويل بعملية الضرب Image Multiplication

في هذه العملية يتم ضرب الرقم العددي لعنصر الصورة في صورة ما في العدد الرقمي لعنصر الصورة المقابلة لها في صورة أخرى للمنطقة نفسها. إن هذه العملية نادرة الاستخدام فاستخدامها أقل من الطريقتين السابقتين، ولكن تظهر أهميتها عندما يكون هنالك صورة تشمل منطقة فيها ظاهرتان مختلفتان تشكل إحداهما اهتماماً لمحلل الصورة. وكمثال لذلك نفترض أن لدينا صورتين، الأولى بالحزمة الطيفية 4 والثانية بالحزمة 7. وتظهر في الصورتين منطقة لمياه وأخرى للباس. إن التغير في انعكاس الأشعة من المنطقة اليابسة يجذب نظر المشاهد أكثر من تغير 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 والتي هي الأفضل في الفصل بين الماء واللباس. من المنحنى

التكراري لصورة الحزمة 7 يتم اختيار حد فاصل (رقم عددي) بين الماء واليابس، ثم يتم عمل صورة اصطناعية من صورة الحزمة 7 تتشكل هذه الصورة من الأعداد الرقمية 0 و1 فقط. يمثل العدد الرقمي 1 وحدات الصورة التي لها أعداد رقمية أقل من الحد المختار للفصل بين الماء واليابس، ويمثل العدد الرقمي 0 عناصر الصورة المتبقية وهي 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 و1 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. وبذلك تكون الصورة الناتجة من ضرب مصفوفة الغطاء في صورة الحزمة 4 هي صورة يمثل فيها العدد الرقمي 0 منطقة اليابسة والأعداد الرقمية الأخرى غير 0 منطقة الغطاء المائي. وعليه تكون الصورة من قسمين فقط: أبيض وأسود، أحدهما المنطقة المائية والآخر المنطقة اليابسة فيسهل التفريق بينهما.

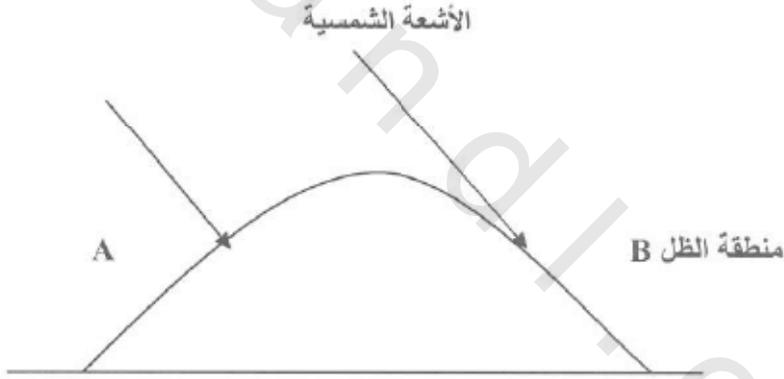
(٤, ٢, ٧) التحويل بعملية القسمة أو النسبة Image Division or Ratio

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

١- يتيح استخدامها إظهار بعض أوجه أشكال منحنيات الانعكاس الطيفي (spectral reflectance curves) لأنواع مختلفة من الأهداف الأرضية.

٢- تخفيض تأثير تغير التضاريس وتغير الإضاءة على الأشعة المسجلة.

ولنفترض أن منطقة أعشاب على جانبي جبل قد صورت باستخدام حزمتين من الطيف هما الحزمة 1 والحزمة 2 كما في الشكل رقم (٧, ٢). 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 تماماً من الجزء الذي يقع تحت التأثير المباشر للأشعة. إذا قسمنا العدد الرقمي لعنصر الصورة في الجزء المقابل للأشعة على الرقم العددي لعنصر الصورة في الظل سنحصل على نتيجة متقاربة في صورتنا الحزمتين.



الشكل رقم (٧, ٢). منطقة عشبية على جانبي جبل صورت في نطاقين 1 و 2.

إذا كان العدد الرقمي لعنصر الصورة في الجهة المقابلة للأشعة في الحزمة 1 = 180 والعدد الرقمي لعنصر الصورة في الجهة المقابلة للأشعة في الحزمة 2 = 75 فإن حاصل القسمة للعددين = $180 \div 75 = 2.40$.

وإذا كان العدد الرقمي لعنصر الصورة في جهة الظل في الحزمة $1 = 90$ والعدد الرقمي لعنصر الصورة في جهة الظل في الحزمة $2 = 37$ فإن حاصل القسمة للعددتين

$$2.43 = 37 \div 90 =$$

وعليه فإن حاصل القسمة يكون عدداً رقمياً متساوياً في عنصر الصورة المقابل للأشعة والعنصر الذي في الظل. هذا التساوي أيضاً ينتج في حالة قسمة بيانات الحزمة 2 على بيانات الحزمة 1 (0.41). لاحظ أن استخدام الطرح في هذه الحالة ينتج منه عدد رقمي لعنصر الصورة المقابل للأشعة ($180 - 75 = 105$) ضعف العدد الرقمي الناتج لعنصر الصورة تحت الظل ($90 - 37 = 53$).

إذا كان العدد الرقمي لعنصر الصورة في الجهة المقابلة للأشعة في الحزمة $1 = 180$ والعدد الرقمي لعنصر الصورة في الجهة المقابلة للأشعة في الحزمة $2 = 75$ فإن حاصل القسمة للعددتين

$$2.40 = 75 \div 180 =$$

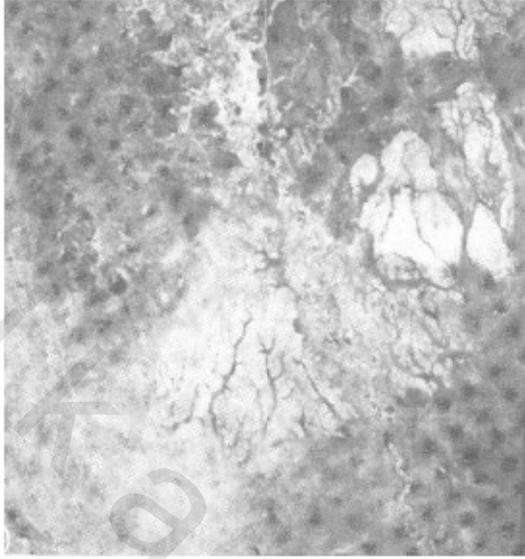
وإذا كان العدد الرقمي لعنصر الصورة في جهة الظل في الحزمة $1 = 90$ والعدد الرقمي لعنصر الصورة في جهة الظل في الحزمة $2 = 37$ فإن حاصل القسمة للعددتين

$$2.43 = 37 \div 90$$

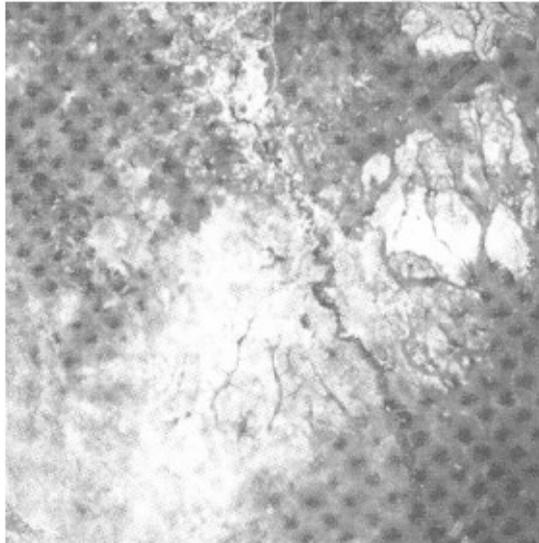
وعليه فإن حاصل القسمة يكون عدداً رقمياً متساوياً في عنصر الصورة المقابل للأشعة والعنصر الذي في الظل. هذا التساوي أيضاً ينتج في حالة قسمة بيانات الحزمة 2 على بيانات الحزمة 1 (0.41). لاحظ أن استخدام الطرح في هذه الحالة ينتج منه عدد رقمي لعنصر الصورة المقابل للأشعة ($180 - 75 = 105$) ضعف العدد الرقمي الناتج لعنصر الصورة تحت الظل ($90 - 37 = 53$).

ولذلك تستخدم عملية القسمة لإزالة تأثير تغير التضاريس وبتنشر استخدامها في تطبيقات مختلفة مثل التطبيقات الجيولوجية والجغرافية الحيوية والنباتات ودراسات

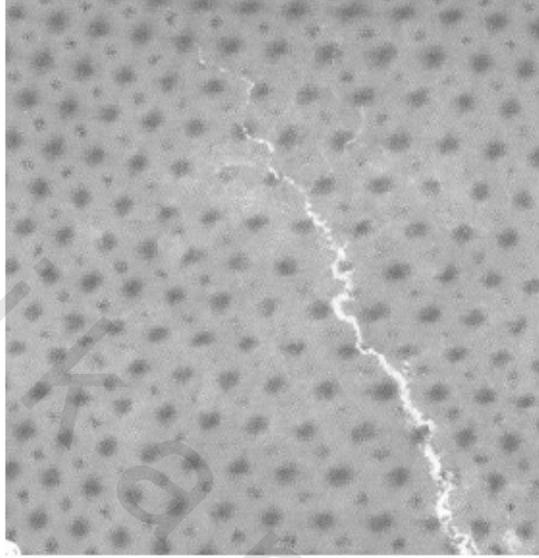
الغابات وغيرها من الدراسات التي تهتم بالغطاء النباتي بصورة عامة. وإن أكثر عمليات القسمة استخداما مع صور الماسح متعدد الطيف هي قسمة صورة الحزمة 7 على صورة الحزمة 5 في الدراسات النباتية. وقد أظهرت الدراسات والتجارب أن النباتات الحية تعكس بقوة في حزمة الطيف 7 وتمتص بقوة أيضا في حزمة الطيف 5. وتوضح الصورة في الشكل رقم (٧,٣) والصورة في الشكل رقم (٧,٤) صورتين للحزمة 5 والحزمة 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 وهي الصورة في الشكل رقم (٧,٥) فتبرز بوضوح توزيع الغطاء النباتي الحي أي شديد الاخضرار. وعليه فإن تقنية قسمة الحزم الطيفية تساعد في التغلب على مشكلة اختلاف كمية الطاقة المنعكسة من الأجسام التي تتكون من المادة نفسها. ويمكن عمل العديد من النسب بين الحزم الطيفية المختلفة. وعلى سبيل المثال يمكن عمل ستة نسب للماسح متعدد الأطياف: 1:2، 1:3، 1:4، 2:3، 2:4، 3:4. ومن هذه النسب يمكن إنتاج صور بالألوان الزائفة (false colors) وذلك بعمل مركب من ثلاث نسب، كل نسبة تمثل أحد الألوان الرئيسية: الأحمر والأخضر والأصفر وقد أسهبتنا في الحديث عن الألوان وتحويلها في الفصل الخامس.



الشكل رقم (٧,٣). صورة في حزمة الطيف 5 [14].



الشكل رقم (٧,٤). صورة لذات المنطقة في حزمة الطيف 7 [14].



الشكل رقم (٧,٥). الصورة الناتجة بعد إجراء القسمة بين الحزمتين 5 و 7 [14].

(٧,٢,٥) التحويل باستخدام النسب المركبة Complex Ratios Transform

هنالك عمليات نسبة أو قسمة أكثر تعقيداً من عملية القسمة المباشرة التي ذكرناها في العنوان رقم (٧,٤,٢). مثال ذلك النموذج الرياضي المستخدم للتعرف على مؤشر فرق النبات الانتظامي (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI). هذا النموذج يتم تكوينه من قسمة حاصل طرح على حاصل جمع صورتين الحزمتين 7 و 5:

$$NDVI = (B7 - B5) / (B7 + B5) \quad (7.5)$$

حيث B7 و B5 تمثل الأعداد الرقمية لعناصر الصورة المتقابلة في صورتين الحزمتين 7 و 5 من الماسح الضوئي للقمر لاندسات على التوالي.

ويمكن وضع هذا النموذج بصورة رياضية أخرى:

$$\text{NDVI} = [(B7-B5) / (B7 + B5)] + 1 - 1 \quad \text{من النموذج (7.5):}$$

$$= [(B7 - B5 + B7 + B5) / (B7 + B5)] - 1 \\ = [2*B7/(B7 + B5)] - 1 \quad (7.6)$$

ومثال آخر هو مؤشر النبات المعدل لعامل نوعية التربة Soil Adjusted (SAVI) Vegetation Index

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

(٧،٣) 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 وتسمى المكونات أو المركبات الأساسية. إن المبدأ الأساسي المستخدم لإجراء هذا التحويل هو تحويل البيانات خطياً من نظام إحداثيات إلى نظام إحداثيات جديد يصير فيه التباين الأعظم لأي إسقاط للبيانات على محوره الأول. ويسمى هذا المحور المكون الأساسي الأول. كما يقع التباين الأعظم الذي يليه على المحور الثاني من هذا النظام الجديد [14], [21], [25].

وللمكونات 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، وهكذا.

* لا تكون المكونات الأساسية مرتبطة بعضها ببعض. وذلك على العكس تماماً من المكونات الأصلية والتي 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). ولذلك 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 رقم (٦، ٧)، ذلك يدل على أن هنالك ارتباط عال بين بيانات الحزمتين ويستتبع من ذلك أيضاً وجود تكرار في البيانات. وتستخدم تقنية تحليل المركبات الأساسية لإعادة توزيع البيانات على محاور جديدة وبالتالي تخفيض الكمية الهائلة من البيانات الزائدة، فتصبح بيانات الحزم الطيفية غير مرتبطة مما يسهل عملية تفسير وتصنيف الصور الرقمية.

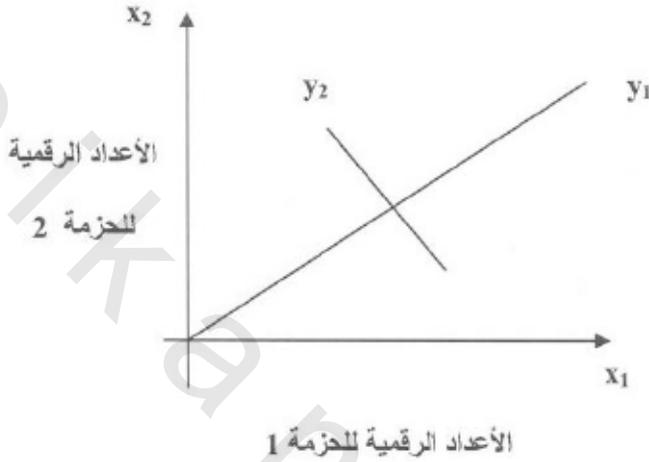
ولكل عنصر صورة يحسب عدد رقمي جديد بالنسبة لنظام الإحداثيات الجديد. وبالتالي يكون هنالك مجموعة أعداد رقمية لوحدة الصورة بالنسبة للمكون الأساسي الأول ويتم تشكيل صورة رقمية جديدة من هذه الأعداد الرقمية، وكذلك الحال بالنسبة للمكون الأساسي الثاني. ومن الممكن تكوين مركبات أساسية على عدد الحزم الطيفية المستخدمة في التصوير.

وكما هو مبين في الشكل رقم (٦، ٧) يمكن اختيار نظام إحداثيات جديد يكون فيه المحور الرئيسي الأول هو المحور الذي تجمعت فيه البيانات y_1 والمحور الثاني y_2 يكون متعامداً مع المحور الرئيسي الأول، ويمكن أن يتم هذا التحويل باستخدام العلاقة الرياضية التالية:

$$y_1 = a_{11} x_1 + a_{12} x_2 \quad (7.8)$$

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

حيث إن (x_1, x_2) هي إحداثيات وحدة الصورة في النظام الأصلي.
 (y_1, y_2) هي إحداثيات وحدة الصورة في النظام الجديد.



الشكل رقم (٦، ٧). الارتباط العالي بين الأعداد الرقمية لصورتَي الحزمة 1 والحزمة 2.

والقيم $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$ هي ثوابت التحويل التي يمكن حسابها بفرض الشروط التالية:

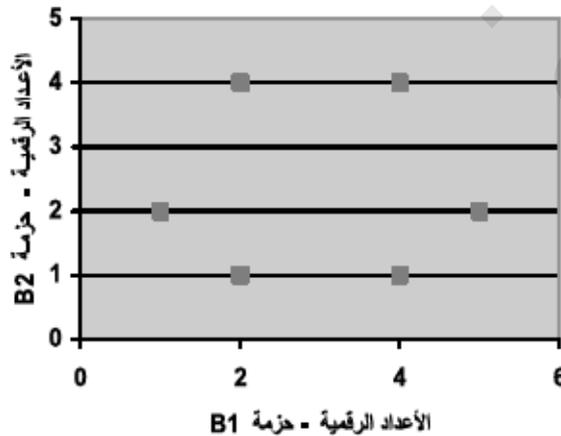
- ١- مجموع مربعات الثوابت يعادل وحدة واحدة.
 - ٢- أن يبلغ التباين بين بيانات الصورة الأصلية المدخلة (x_i) والصورة المحولة (المخرجة) (y_i) في الحزمتين أقصى قيمة له (حيث إن i تمثل الحزمة 1 والحزمة 2).
 - ٣- عدم الارتباط بين المكون الرئيسي (y_1) والمكون الثانوي (y_2) .
- عليه يمكن القول بأن عدد أبعاد الفراغ الطيفي يمثله 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 وبالتالي يشكل فراغاً طيفياً من سبعة أبعاد.

إن هذه التقنية مبنية على دراسة متجهات ذاتية eigen vectors لمصفوفة تمام التباين (V) covariance matrix ودراسة مصفوفة الارتباط (R) correlation matrix. وسنقدم فيما يلي مثالين لصورتين رقميتين [20]، تحتوي كل منهما على بيانات طيف من حزمتين ثم نوضح كيفية استخدام تحليل المركبات الرئيسة لتحويل بيانات كل من الصورتين. ويمكن 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:

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

وقد تم تمثيل هذه البيانات على شكل رسم بياني تشتتي "scatter plot" كما هو مبين في الشكل (٧,٧).



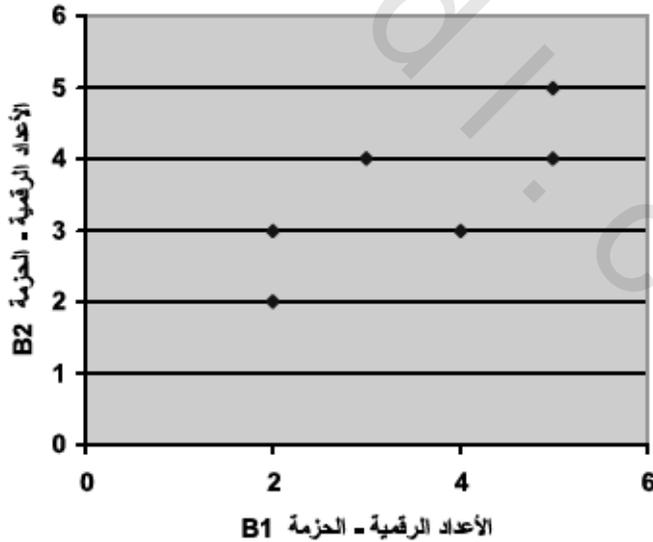
الشكل رقم (٧,٧). رسم بياني تشتتي لبيانات الصورة رقم 1.

وتم حساب M_1 و M_2 وهما متوسط الأعداد الرقمية في كل من الحزمة B_1 والحزمة B_2 على التوالي، وذلك من حاصل قسمة مجموع الأعداد الرقمية في كل حزمة على عدد عناصر الصورة في ذات الحزمة.

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

$(X_i - M_2)$	$(X_i - M_1)$	DN (B_2)	DN (B_1)	عنصر 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
		$M_2 = 3.5$	$M_1 = 3.5$	

ويمثل الشكل رقم (٧,٨) رسم بياني تشبهي لهذه الصورة الرقمية.



الشكل رقم (٧,٨). رسم بياني تشبهي للصورة رقم 2.

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

$$V = \sum \{(X_i - M) * (X_i - M)^T\} / (N - 1) \quad (7.9)$$

وبما أن عدد عناصر الصورة N يكون كبيراً جداً فيمكن كتابة هذه العلاقة كالتالي:

$$V = \sum \{(X_i - M) * (X_i - M)^T\} \quad (7.10)$$

حساب المصفوفة V_1 للصورة الأولى:

$$V_1 = \left\{ \begin{bmatrix} -2 \\ -0.33 \end{bmatrix} [-2 \quad -0.33] + \begin{bmatrix} -1 \\ -1.33 \end{bmatrix} [-1 \quad -1.33] + \begin{bmatrix} 1 \\ -1.33 \end{bmatrix} [1 \quad -1.33] + \begin{bmatrix} 2 \\ -0.33 \end{bmatrix} [2 \quad -0.33] + \begin{bmatrix} 1 \\ 1.67 \end{bmatrix} [1 \quad 1.67] + \begin{bmatrix} -1 \\ 1.67 \end{bmatrix} [-1 \quad 1.67] \right\} / 5$$

$$V_1 = \begin{bmatrix} 2.4 & 0 \\ 0 & 1.867 \end{bmatrix}$$

وبالمثل يمكن حساب المصفوفة V_2 للصورة الثانية:

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

ولتمييز 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:

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

حيث إن: $r_{ij} = V_{ij} / (V_{ii} * V_{jj})^{1/2}$
وأن $j=1,2$ و $i=1,2$

وبالتالي فإن مصفوفتي الارتباط للصورتين هما:

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

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

من مصفوفة الارتباط للصور الأولى يتبين أنه ليس هنالك ارتباط بين بيانات حزمتي الصورة (قيمة الارتباط تساوي صفر)، وذلك 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 وهي قيمة عالية تشير إلى أن بيانات الحزمتين عن المنطقة المصورة في الصورة الثانية متشابهة بدرجة عالية وذلك يعني أن دراسة بيانات إحدى الحزمتين تكفي عن دراسة بيانات الحزمة الأخرى بدرجة كبيرة. ويعني ذلك أن كثيراً من الجهد يمكن أن يوفر في البحث عن الصورة المناسبة لغرض دراسة معينة. وتشبه هذه العملية مرحلة الاستطلاع المساحي في المساحة الأرضية أو الجوية.

وبما 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:

$$Y = G X \quad (7.11)$$

أما مصفوفة الدوران G فيمكن الحصول عليها بإيجاد القيم الذاتية eigen values (λ_i) والمتجهات الذاتية eigen vectors (g_i) من مصفوفة تمام التباين V_x على النحو التالي:

أولاً: لإيجاد القيم الذاتية نقوم بحل المعادلة:

$$V_x - \lambda I = 0 \quad (7.12)$$

حيث إن I هي مصفوفة الوحدة، ولكل قيمة ذاتية λ_i لا تساوي صفر يمكن إيجاد المتجه الذاتي المقابل لها g_i وذلك من المعادلة:

$$[V_x - \lambda_i I] g_i = 0 \quad (7.13)$$

وتكون مصفوفة الدوران المطلوبة هي

$$G = [g_1 \ g_2 \ g_3 \ g_{nb}]^T \quad (7.14)$$

وعلى سبيل المثال سنقوم بحساب القيم الذاتية والمتجهات الذاتية للمصفوفة

V_2 في المثال الذي بين أيدينا على النحو التالي.

$$\begin{vmatrix} 1.9 - \lambda & 1.1 \\ 1.1 & 1.1 - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

$$\lambda^2 - 3.0\lambda + 0.88 = 0$$

وحل هذه المعادلة هو:

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

وتكتب النتيجة على شكل متجه:

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

وبتعويض قيمة λ_1 في المعادلة (7.5) نحصل على:

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

ذلك يعني:

$$\begin{aligned} -0.77 g_{11} + 1.10 g_{21} &= 0 \\ 1.10 g_{11} - 1.57 g_{21} &= 0 \end{aligned}$$

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

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

يمكن الحصول على الحل:

$$g_{i1} = \begin{bmatrix} 0.82 \\ 0.57 \end{bmatrix}$$

حيث $i = 1, 2$.

إذن مصفوفة الدوران المطلوبة تكون:

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

وعليه فإن تحويل المركبات الأساسية هو:

$$Y = G X$$

ويمكن كتابته كما يلي:

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

ونوجد V_y من العلاقة: $V_y = G V_x G^T$ حيث $V_x = V_2$

وبعد 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، وذلك 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 $C2$. ومن هذا يتضح أن تباين البيانات على واحد من المحورين بعد التحويل بطريقة المركبات الأساسية، أي بعد إجراء الدوران لنظام الإحداثيات، يساوي القيمة الأيقونية المقابلة، وبما أن مجموع التباين قبل وبعد الدوران لم يتغير (المجموع قبل التحويل هو $1.10 + 1.90 = 3.00$ والمجموع بعد إجراء التحويل هو $2.67 + 0.33 = 3$)، مما يعني أن التحويل لم يكن له تأثير على مجموع

التباين للبيانات الأصلية. وباستخدام النسبة $1.9/3$ والنسبة $1.1/3$ يمكن إيجاد النسبة المئوية للتباين التي يمثلها كل من B_1 و B_2 :

تمثل بيانات B_1 نسبة مئوية قدرها: $(1.9/3)*100 = 63.3\%$ من التباين الكلي للبيانات الأصلية، وتمثل بيانات B_2 نسبة مئوية قدرها: $(1.1/3)*100 = 36.7\%$ من التباين الكلي للبيانات الأصلية.

أما إذا نظرنا إلى البيانات على المحورين C_1 و C_2 بعد إجراء عملية الدوران نجد أن النسب المئوية للتباين على كل من المحورين على الوجه التالي:

تمثل البيانات على المحور C_1 النسبة المئوية: $(2.67/3)*100 = 89\%$ من كامل البيانات،

وتمثل البيانات على المحور C_2 النسبة المئوية: $(0.33/3)*100 = 11\%$ من كامل البيانات.

وذلك يشير إلى أن البيانات على المحور C_1 تمثل نسبة عالية جداً من البيانات الكلية مقارنة بالبيانات على المحور C_2 . ويطلق على بيانات المحور الأول المكون الرئيس *principal component* وبيانات المحور الثاني المكون الثانوي *secondary component*. وعليه يمكن استخدام بيانات الحزمة الأولى، التي على محور المكون الرئيس فقط في عمليات معالجة وتحليل الصورة الرقمية؛ دون أن نكون قد فقدنا الكثير من بيانات الصورة. إن إجراء هذه العملية يمكن أن يتم على أي عدد من الحزم الطيفية. ويحقق ذلك هدف تقليل عدد الحزم وحصص البيانات في أقل عدد منها مما يقلل كمية البيانات ويسهل بالتالي معالجتها [25].

وفيما يلي بعض مميزات تحويل الصورة الرقمية باستخدام تقنية تحليل المركبات

الأساسية:

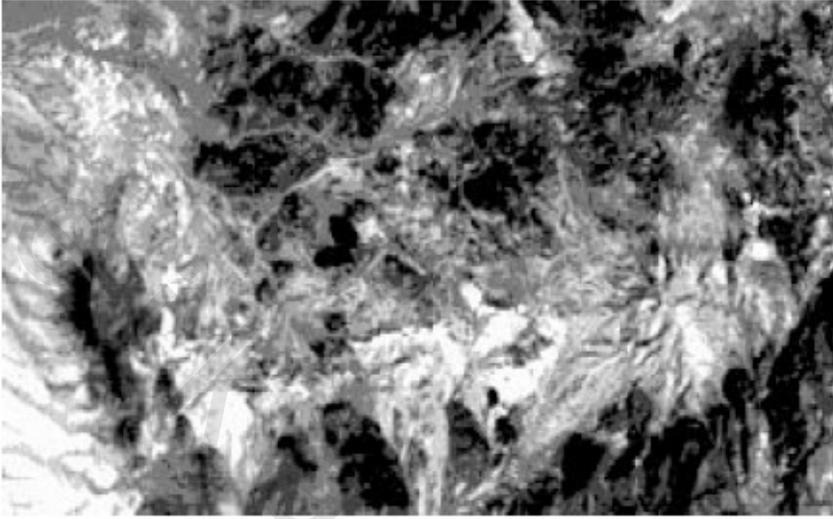
الأول: يمكن ضغط المعلومات التي تتوفر في صور الحزم الطيفية المستخدمة في أقل عدد من الحزم مع المحافظة على نسبة عالية من المعلومات. تساعد هذه الخاصية في تقليل زمن معالجة البيانات بالحاسوب خاصة عملية التصنيف.

الثاني: تكون صور المكونات الأساسية الناتجة من هذه العملية أقل ارتباطاً مما يؤدي إلى إزالة التشويش.

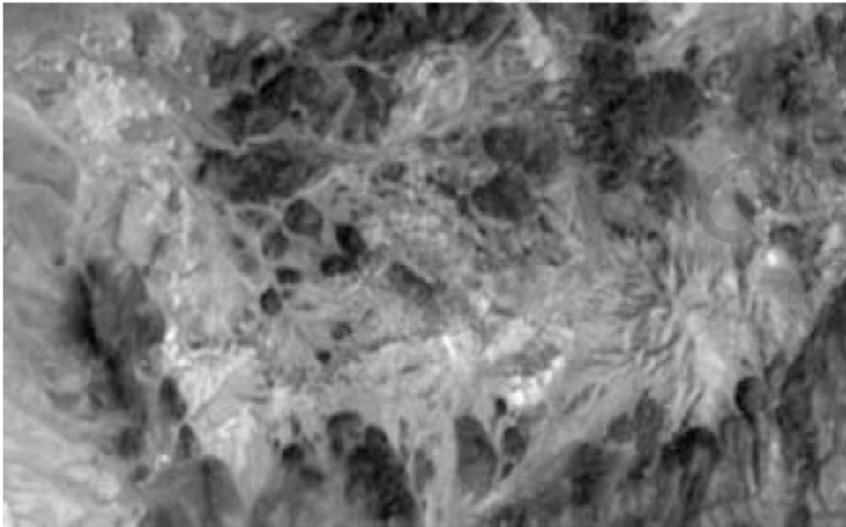
الثالث: يكون الفرق في الانعكاس الطيفي للمواد المختلفة على سطح الأرض أكثر وضوحاً في صور المكونات الأساسية منه في صور الحزم الطيفية منفردة.

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

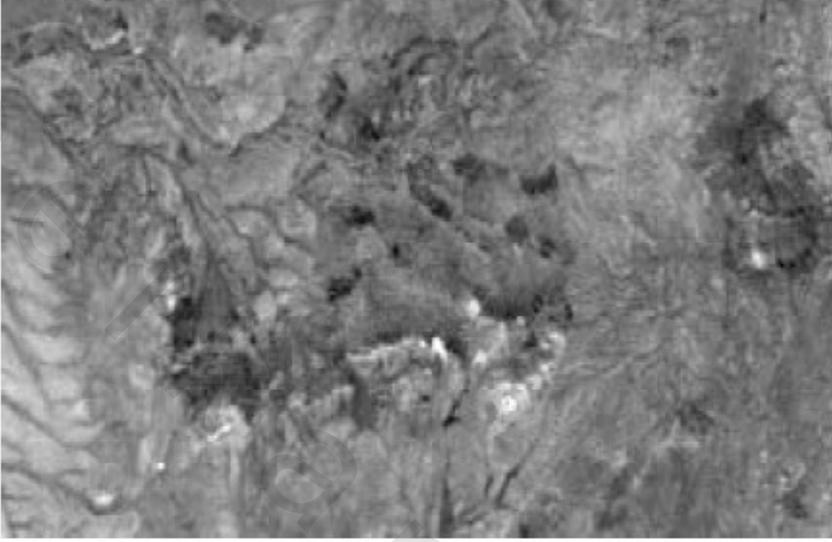
يوضح الشكل رقم (٧، ٩) صورة بالألوان الطبيعية من القمر الصناعي لاندسات 4 أخذت بواسطة الماسح الموضوعي TM لمنطقة الجبل الأبيض، ولاية يوتا بأمريكا [12]. وفي الأشكال رقم (٧، ١٠ و ٧، ١١ و ٧، ١٢) صور للمكونات الرئيسة الأول والثاني والثالث على التوالي. أما صورة المركب الرئيس في الشكل رقم (٧، ١٠) فتظهر وكأنها صورة جوية أبيض وأسود للمنطقة وتظهر كل المعالم تقريبا كما في الصورة الأصل في الشكل رقم (٧، ٩)، في حين أن صورة المكون الرئيس الثاني تظهر وقد فقدت كمية مقدر من المعلومات التي كانت في الصورة الأصل. أما صورة المكون الرئيس الثالث فقد اختفت فيها جل هذه المعلومات وأصبحت غير ذات فائدة تذكر في عملية تفسير الصورة.



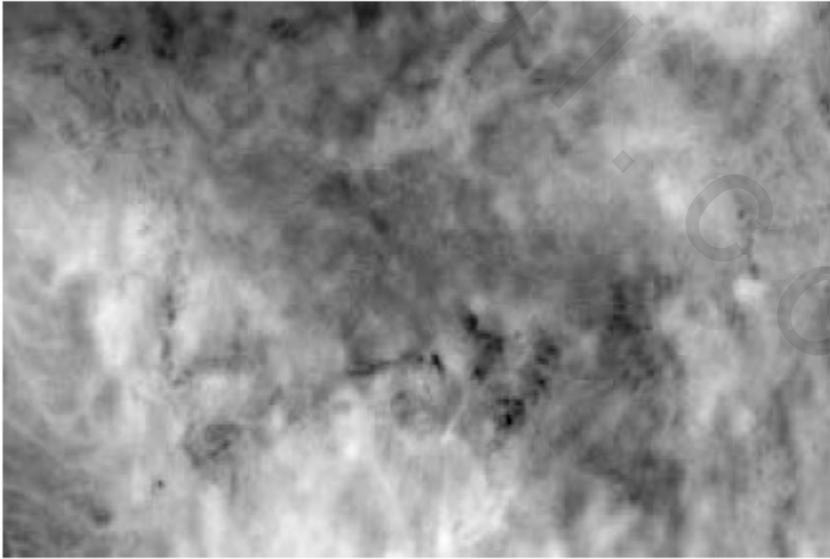
الشكل رقم (٧, ٩). صورة بالألوان الطبيعية من القمر الصناعي لاندسات 4 بالماسح الموضوعي TM قبل إجراء المعالجة بتحليل المركبات الرئيسة. [12]



الشكل رقم (٧, ١٠). صورة المركب الرئيس الأول [12].



الشكل رقم (٧, ١١). صورة المركب الرئيس الثاني [12].



الشكل رقم (٧, ١٢). صورة المركب الرئيس الثالث [12].

بعد إجراء العمليات التي تم شرحها خلال الفصول السابقة من تصحيح للأخطاء الهندسية والتشوهات الإشعاعية ومن ثم تحسين بيانات الصورة بإجراء تمديد التباين والترشيح والتحويل تصبح الصورة الرقمية في وضع يجعلها أيسر للتفسير والتصنيف وهو ما سيتم شرحه في الفصل الأخير من هذا الكتاب.

(٧, ٤) تمارين

- (٧, ٤, ١) عرف عملية تحويل الصور الرقمية.
 (٧, ٤, ٢) ما هي أكثر العمليات الحسابية استخداماً في تحويل الصور الرقمية؟ ولماذا؟
 (٧, ٤, ٣) ماذا يميز عملية تحويل الصورة الرقمية من عمليات التحسين الأخرى؟
 (٧, ٤, ٤) 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 والطرح على البيانات في الحزمتين A و B وقارن بين الصورة الناتجة من كل عملية والصورتين الأصليتين.
 ب) أجر عملية قسمة بيانات الحزمة B على بيانات الحزمة C وعلق على الصورة الناتجة.
 (٧, ٤, ٥) البيانات التالية عبارة عن الأعداد الرقمية لصورتين A و B كل منهما في حزمتين للطياف B2 و B1:

بيانات الصورة B

بيانات الصورة A

الحزمة B2			الحزمة B1			الحزمة B2			الحزمة B1		
5	1	2	2	1	2	2	4	5	6	4	3
2	4	3	4	4	2	3	5	4	5	3	2

- أ) أحسب متوسط الأعداد الرقمية لكل من بيانات الحزمة A والحزمة B.
- ب) ارسم الرسم البياني التشتتي لبيانات الصورتين A وB.
- ج) أحسب مصفوفة التباين وتمام التباين لكل صورة.
- د) أحسب مصفوفة الارتباط ومعامل الارتباط لكل من الصورتين ثم بين أي منهما تحمل بيانات ذات ارتباط أعلى وقم بإجراء عملية تحويل المركبات الأساسية عليها.