

Using the Matrix of the Change Detection for Multitemporal Filtering and for Analysing the Image Time Series of SAR and Pol SAR

Dima Barakat*

(Received 28 / 2 / 2017. Accepted 20 / 7 / 2017)

□ ABSTRACT □

Synthetic Aperture Radar (SAR) satellites and Polarimetric Sar(POLSAR) have provided a tool to draw the Earth surface and generate high-resolution remote sensing imagery. The images which we obtained from SAR have more information we can use it in many things .Thus, this paper introduces a way for analyzing the image time series of SAR and POLSAR which based on change detection matrix (CDM) which contains information about the changed and unchanged pixels. This matrix has been put for each local position in the time series about similar tests. And then the matrix is used to adaptive with the temporal filtering, analyzing of change dynamics. The proposed approach is illustrated on the three following data sets: 25 ascending TerraSAR-X images and 7 descending RADARSAT 2 full polarization images over Chamonix-MontBlanc, France, where the seasonal evolution of glaciers and mountains can be observed, finally time series of 11 ascending ALOS-PALSAR dual polarization images over Merapi volcano, Indonesia during a period including the 2010 eruption.

The use of this matrix has resulted in high accuracy results that can be applied to sudden changes in the radar data collection.

Keywords: Change detection matrix- Change analysis- SAR-PolSAR image time series -Multitemporal filtering- Index of change dynamics

* Academic Assistant Department of Comuter Engineering And Automatic Control, Faculty of Mechanical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

استخدام مصفوفة كشف التغير في الترشيح متعدد الأزمنة وفي تحليل التغير في صور SAR و POLSAR للسلاسل الزمنية

ديمة بركات*

(تاريخ الإيداع 28 / 2 / 2017. قُبِلَ للنشر في 20 / 7 / 2017)

□ ملخص □

يستخدم الرادار ذي الفتحة الاصطناعية SAR (Synthetic Aperture Radar) والاستقطابية POLSAR (Polarimetric Sar) لرسم خرائط سطح الأرض حيث يولد صوراً عالية الدقة للاستشعار عن بعد. تحتوي الصور التي يتم الحصول عليها من الرادار على معلومات زائدة عن الحاجة يمكن استخدامها في عدة أمور ولذلك يقدم هذا البحث طريقة لتحليل صور السلسلة الزمنية للرادار بالاعتماد على مصفوفة كشف التغير CDM (Change Detection Matrix) والتي تتضمن معلومات عن البكسلات المتغيرة وغير المتغير. تم وضع هذه المصفوفة من أجل كل موضع مكاني في السلاسل الزمنية عبر اختبارات متشابهة. وقد تم استخدام هذه المصفوفة فيما بعد لتتكيف مع التصفية الزمنية، وتحليل حركات تغير وكشف التغير متعدد الأزمنة. النهج المقترح تم تطبيقه على ثلاث مجموعات من البيانات، وهي: صور الـ TerraSAR-X. كذلك صور الـ 7 تنازلي لـ RADARSAT2 كاملة الاستقطاب فوق شاموني مونت بلانك في فرنسا حيث يمكن مراقبة التطور الموسمي للأنهار الجليدية والجبال. وأخيراً صور الـ 11 تصاعدي لـ ALOS-POLSAR ثنائي الاستقطاب فوق بركان ميرابي في اندونيسيا خلال فترة ثورانه في 2010. وقد أدى استخدام هذه المصفوفة إلى الحصول على نتائج بدقة عالية يمكن تطبيقها على التغيرات المفاجئة التي تحصل على مجموعة بيانات الرادار.

الكلمات المفتاحية: مصفوفة كشف التغير - تحليل التغير - صور السلاسل الزمنية لـ POLSAR/SAR - التصفية متعددة الأزمنة - مؤشر حركات التغير.

*قائم بالأعمال - قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:

لقد وفر إطلاق رادار SAR ذي الفتحة الاصطناعية أداة هامة لرسم خرائط سطح الأرض والحصول على خصائصها الفيزيائية. ويعد رادار SAR بأنه طريقة تصوير فعالة تعتمد الأمواج الميكروية تعمل في جميع الأوقات وجميع الظروف الجوية وبشكل مستقل عن أشعة الشمس وتراكم الغيوم... الخ. ولذلك فإن مثل هذا النظام مفيد جداً في مهام الرصد العملية. وهناك العديد من الصور المأخوذة في أزمنة متعددة باستخدام SAR والرادار المستقطب POLSAR والتي تتميز بدقة عالية بتحديد الموضع المكاني والزمني وتساعد في التحليل على مناطق مهمة بمختلف أنحاء الأرض. يمكن تحسين نتائج الأبحاث باستغلال المعلومات المكانية والزمانية للبيانات التي يحصل عليها من أزمنة مختلفة. وفي حال لم يكن هناك أي تغيير للصورة خلال تتابع زمني أي بمشاهدات عديدة لنفس المشهد يتم استخدام المعلومات الزائدة عن الحاجة في الكشف البناء والتصنيفية متعددة الأزمنة من أجل زيادة الدقة والموثوقية. وعلى العكس إذا كان هناك تغيير في التتابع الزمني للصورة فإنه يجب الكشف عنها والاحتفاظ فيها لاستثمار بياناتها في عمليات أخرى. تسمح لنا هذه التغيرات بتحليل التطور الزمني للكائنات داخل المشهد.

أهمية البحث وأهدافه:

يقوم رادار SAR بإرسال واستقبال الإشارة الكهرومغناطيسية بشكل مترابط. من أجل كل عينة من عينات SAR متمثلة بالسعة والطور لإشارة الصدى تمثل بعدد تخيلي مكون من جزء حقيقي هو المطال وجزء تخيلي هو الطور. لكشف تغييرات الميزات خلال فاصل زمني باستخدام بيانات SAR يجب التعامل من جهة مع العمليات المعقدة لهذه البيانات ومن جهة أخرى بما يسمى البقع والتي تؤثر على صور الرادار وتظهر كضجيج مضاعف. وفي هذا السياق الخاص بتحليل التتابع الزمني لصور SAR/POLSAR تناولت الأبحاث الجوانب المختلفة بما في ذلك الترميز، الكشف المتغير والتصنيف. اقترح البحث طريقة عامة لتحليل صور السلاسل الزمنية لراداري SAR/POLSAR على أساس مصفوفة المعلومات الزمانية المكانية والمسلمات مصفوفة الكشف المتغير CDM، هذه المصفوفة تتضمن المواقع الزمنية والتي تتكيف لتغير وتثبيت المناطق وذلك عبر الاختبارات المتشابهة. ونقترح تطبيق هذا الأسلوب ولذلك لثلاثة مهام أساسية:

1- التصنيفية الزمنية غير المحلية لصور السلاسل الزمنية لكل من SAR/POLSAR .

2- تحليل حركات الكشف في منطقة المشاهدة .

3- الكشف المتغير المتعدد الأزمنة لأنواع مختلفة من المتغيرات.

يجب تصفية البقع في البداية من أجل تحسين كفاءة استخدام صور SAR. وقد تم تطوير العديد من المناهج لتخفيض ظاهرة البقع وللحصول على صورة خالية من البقع باستقطاب وحيد. وإحدى هذه المناهج موجودة في عدة أبحاث للناشر Kwon Ho Lee تم نشرها عام 2014 في مجلة IEEE وبأكثر من عدد بعنوان.

1. بناء المصفوفة:

3.1 طريقة البناء:

لتحديد البكسلات المتغيرة وغير المتغيرة في صور السلاسل الزمنية لـ SAR ، نقترح بناء مصفوفة كشف التغير CDM المتضمنة معلومات عن الردود المتشابهة للاختبارات بين كل زوج من التواريخ. وباعتبار N-length والتي هي أبعاد مصفوفة كشف التغير والمعايرة المشتركة والتسجيل لصور السلسلة الزمنية لـ SAR .

$$I = \{I_t\} \quad 1 \leq t \leq N$$

حيث I_t : الصورة التي التقطت في الزمن t .

وكل بكسل $I_t(i, j)$ من الصورة I_t يحوي على قيمة مطال وكثافة لصورة SAR/POLSAR أو ميزة لمصفوفة التباين أو الترابط لصورة POLSAR .

نافذة التحليل والتي تحدد الصندوق المكاني المجاور. $I_t^W(i, j)$

الشعاع المتضمن كل قيم البكسلات في الموقع المكاني (i, j) والذي يسمى مكس البكسل. $\{I_t(i, j)\} \quad 1 \leq t \leq N$

في كل مكس البكسل ، فإن مصفوفة كشف التغير المقترحة تبنى على استراتيجية مكونة من خطوتين: الخطوة الأولى تحليل Bi-date: نقوم بحساب اختبارات متشابهة بين كل تاريخين باستخدام وحدات نافذة صغيرة لاشتقاق مصفوفة كشف التغير (CDM1) هذه المصفوفة تتضمن كل الردود للاختبارات المتشابهة والتي تحدد البكسلات المتغيرة وغير المتغيرة المقابلة لكل تاريخ مرجعي.

الخطوة الثانية هي التحليل متعدد التواريخ: والمعتمد على الخطوة الأولى وعلى حساب الاختبارات المتشابهة بين كل البكسلات غير المتغيرة والمعرفة في المصفوفة CDM1 المقابلة لكل تاريخين في مكس البكسلات. وإن نتيجة هذه الخطوة هي مصفوفة كشف تغيير أخرى هي CDM2 والتي تزودنا بالبكسلات المتغيرة وغير المتغيرة بدقة أكثر. 3.1.1 تحليل Bi-date :

على اعتبار الموقع المكاني للبكسل هو (i, j) ومراقب في وقتين مختلفين t, l فإن معادلة الاختبار المشابه تكتب بالشكل التالي:

$$H_{t,l}^W(i, j) = h(I_t^W(i, j), I_l^W(i, j)) \quad 1 \leq t \leq N \quad 1 \leq l \leq N \quad (1)$$

حيث h درجة التشابه بين I_t^W و I_l^W حاصلة من تشابه القياسات. ولنقرر فيما إذا كان $H_{t,l}^W(i, j)$ يحوي ضجيج فقط أو أنها تحوي معلومات متغيرة فعلياً مقارنتها بالعتبة λ ، وهكذا فإن معادلة اختبار التشابه تصبح بالشكل التالي:

$$H_{t,l}^W(i, j) \geq \lambda \quad (2)$$

وعندها تعرف معلومات كشف التغير بالتالي:

$$M_{t,l}^W(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{if } H_{t,l}^W(i, j) \leq \lambda \\ 1 & \text{if } H_{t,l}^W(i, j) > \lambda \end{cases} \quad (3)$$

تدعى المصفوفة M مصفوفة كشف التغير بالخطوة الأولى CDM1 . وهي مصفوفة مربعة بحجم N*N تحوي القيم 0 و 1 حيث 0 تعبر عن عدم التغيير و 1 تعبر عن البكسلات المتغيرة.

3.1.2 التحليل متعدد التواريخ:

لكي نحدد نتائج البكسلات المتغيرة وغير المتغيرة المحددة في كل كومة بكسل ناتجة عن الخطوة الأولى والتي هي Bi-date يجب أن نأخذ بعين الاعتبار نفس الاختبار السابق ضمن إطارات متعددة الأزمنة. كل البكسلات غير المتغيرة المحددة في CDM1 والمستجيبة لكل تاريخ تستخدم لتشكيل السلسلة الزمنية المجاورة. بالإضافة لذلك فإنه من مصفوفة CDM1 ومن أجل كل بكسل $I_t(i, j)$ نحصل على مجموعة من العناصر التي تملك نفس الخصائص الثابتة لـ $I_t(i, j)$ والمقابلة لـ h و λ في الاختبار المشابه الثاني:

$$\Psi(I_t^w(i, j)) = \{I_k(i, j) | M_{t,k}^w(i, j) = 0; k = 1, \dots, N\} \quad (4)$$

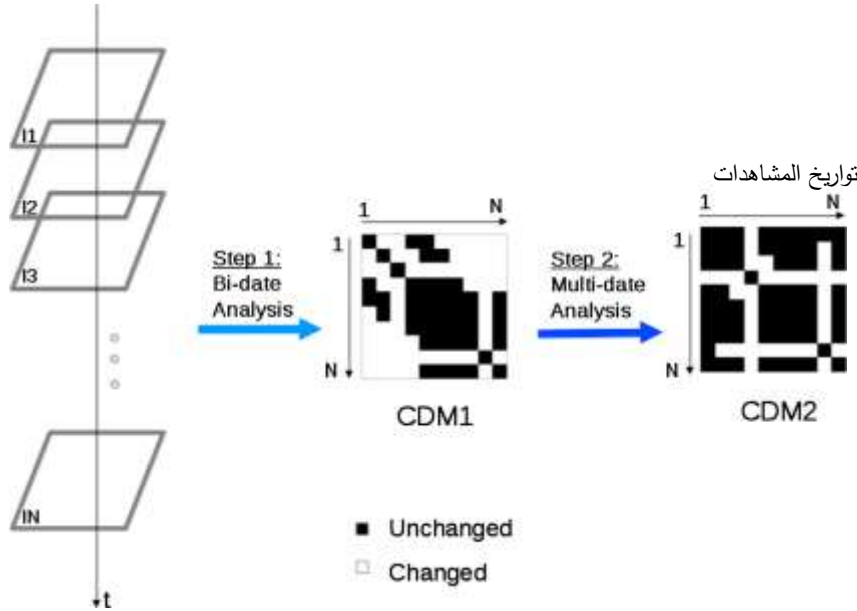
يتم حساب الاختبارات المتشابهة بين السلاسل الزمنية المتجاورة الناتجة لكل تاريخين:

$$H_{t,l}^w(i, j) = h(\Psi(I_t^w(i, j)), \Psi(I_l^w(i, j)))_{1 \leq t \leq N} \quad (5)$$

$$M_{t,l}^w(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{if } H_{t,l}^w(i, j) \leq \lambda \\ 1 & \text{if } H_{t,l}^w(i, j) > \lambda \end{cases} \quad (6)$$

تدعى المصفوفة M مصفوفة كشف التغيير CDM2 بالخطوة الثانية وتتضمن معلومات موثوقة عن البكسلات

المتغيرة و غير المتغيرة.



الشكل (1) يظهر الخطوتين المتبعين لبناء مصفوفة كشف التغيير

3.2 استخدام الطريقة:

يعتمد إنشاء المصفوفة CDM2 على اختيار مقياس متشابه ومناسب لقياس العتبة وذلك لتحديد منطقة التغيير وعدم التغيير في السلاسل الزمنية. من أجل سلاسل الزمن لصور SAR ذات المطال وحيد الاستقطاب تم اعتماد معامل التغيير (CV) الموجود في (Le et al. (2014a). في هذه المقالة تم اقتراح اختبارات متشابهة لبيانات SAR متعددة الاستقطاب المعتمدة على مسافة ويشارت لقياس التشابه بين البكسلات لكل مكسب بكسلات من POLSAR. الخط البياني لمتوسط التغيرات في المصفوفة T تم وصفه جيداً في توزيع ويشارت المعتمد في (Lee et al., 1999a)

$$[T] = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L k_i k_i^T \quad (7)$$

حيث يدل k على شعاع الهدف المعقد والأس τ يحدد الحد المنقول و L يحدد عدد تغير صور SAR المتشكلة من المعالجة المتعددة والتي تم الحصول عليها عن طريق حساب المتوسط ل L للعينات المستقلة: $L(i)$ التي تمثل صورة وحيدة الرؤية و $L(ii)$ البكسلات المكانية وحيدة الرؤية المجاورة.

$$D_{Wishart}([T]_1, [T]_2) = \ln \frac{\det\{[T]_2\}}{\det\{[T]_1\}} + Tr\{[T]_2^{-1}, [T]_1\} \quad (8)$$

وهكذا فإن القياسات المتشابهة h تطبق على صور POLSAR للسلاسل الزمنية هي $D_{Wishart}$.

نحدد عتبة من عينات التدريب حتى نستطيع معرفة البكسلات المتغيرة من محتوى موقع معين للاختبار. هذا المحتوى يتعلق بطبقات البكسلات المختلفة والمراقبة في موقع الاختبار. على افتراض أن موقع الدراسة يحوي m طبقة، سنختار نفس عدد عينات التدريب لكل طبقة، وعندها نحسب مسافة ويشارت بين البكسلات ضمن كل طبقة (مسافة داخل الطبقة) وبين بكسلات كل طبقتين مختلفتين (مسافة بين الطبقات) مستخدمين الصورة الحاكمة للسلاسل الزمنية. سنحصل على m رسم بياني للمسافات الداخلية وعلى $\frac{m(m-1)}{2}$ رسم بياني للمسافة بين الطبقات. تم في هذه المقالة استخدام نهج تجريبي يتألف من وضع عتبة تمثل أصغر قيمة لمسافة ويشارت عن نقطة التقاطع بين الرسم البياني للمسافات الداخلية والمسافات بين الطبقات الشكل (10).

بالاعتماد على المتطلبات التطبيقية فإن النهج النظري على أساس مقارنة مسافة ويشارت (Frery et al., 2014) ممكن أن يستخدم لتفعيل العتبة تبعاً لمعدل الإنذار الكاذب المتوقع.

4. التصفية الزمنية :

في هذه الفقرة تمت دراسة التصفية الزمنية الوسطية غير المحلية. معظم طرق التصفية الزمنية متعددة الأزمنة مذكورة بعدة أبحاث منها:

“Multi-variate optimal speckle reduction in SAR imagery” (Bruniquel and Lopes).

وتعتمد هذه الأبحاث على أن كل بكسل أو متتالية سلاسل فرعية من البكسلات في نفس التنسيق المكاني للسلاسل الزمنية تستخدم لتقييم القيم التي تمت تصفيتها. وبهذه الطريقة فإن وجود تغيرات في السلاسل الزمنية لا يحتسب في عملية الترشيح لأنه ممكن أن يؤدي إلى تدهور قيم التصفية المكانية والزمانية. إن أول تطبيق للمصفوفة CDMs يخص من أجل التصفية متعددة الأزمنة والتي تساعدنا في التغلب على المشاكل المذكورة. بعد خطوتين من النهج المقترح فإن CDM2 تزودنا من أجل كل بكسل في كومة البكسلات بمجموعة البكسلات غير المتغيرة المجاورة زمانياً ومكانياً، عندها يؤخذ المتوسط الزمني للوصول إلى صورة السلاسل الزمنية SAR/POLSAR المصفاة والمعرفة بالمقدار المعتمد على CDM بالعلاقة التالية:

$$\hat{I}_t(i, j) = \frac{1}{N_{\Psi_t(i, j)}} \sum_{l=1}^{N_{\Psi_t(i, j)}} \left(1 - \hat{M}_{t, l}^w(i, j)\right) I_l(i, j) \quad (9)$$

حيث $N_{\Psi_t(i, j)}$ عدد العناصر في المجموعة

إن المقدار المعطى في المعادلة (9) هو القيمة العظمى القياسية لاحتمال مقدار القيمة الوسطية غير المحلية المطبقة في جوار الزمن. وهو يحدد التحلل الزمني والمكاني الحاصل في تصفية الصور بفضل التغيرات في المنطقة الخاضعة لعملية التصفية. ولذلك فإن معلومات التغير ليست واضحة أثناء التصفية. في بعض الحالات القصوى حيث تكون منطقة المراقبة غير متغيرة بشكل واضح في كل السلاسل الزمنية، فإن قيمة التصفية تساوي القيمة الوسطية

الزمنية لمكدس البكسلات. ومن جهة أخرى إذا تغيرت بشكل واضح ومؤكد في كل صورة للسلاسل الزمنية فإن قيم التصفية ستصبح مساوية للقيم الأصلية لمعلومات التغير المحفوظة.

5. دراسة صور السلاسل الزمنية SAR وحركية التغير:

5.1 دليل حركية التغير:

تسمح لنا معلومات التغير الحاصلة من المصفوفة بالتأكد من حركات التغير الحاصلة في المنطقة المرصودة لكي نفهم سلوك واتجاهات تطور المنطقة. ميزات المنطقة تظهر التغيرات الزمنية بالمقارنة مع المنطقة المحيطة وتجعل للبكسلات مستويات مختلفة في حركية التغير، بدءاً من بكسل مستقر (غالباً غير متغير) إلى بكسل غير مستقر (تغيرات دائمة).

في هذا القسم سنعرض دليل متعلق بحركات التغير في موقع كل بكسل مع ملاحظة أن قرار كشف التغير ممكن اعتباره متحول عشوائي ثنائي الحد مع احتمال قيمتين للنتيجة: القيمة 1 للبكسلات المتغيرة والقيمة 0 لغير المتغيرة.

$\rho(i, j)$ هي احتمالية النتيجة المتغيرة في الموقع (i, j) .

$1 - \rho(i, j)$ هي احتمالية النتيجة الثابتة في الموقع (i, j) .

N-length السلاسل الزمنية. $N(N-1)/2$ تجارب كشف التغير.

وتكون احتمالية حصول تغير أكيد q هي:

$$P(q) = \binom{N(N-1)/2}{q} \rho(i, j)^q (1 - \rho(i, j))^{N(N-1)/2 - q} \quad (10)$$

حيث تدل الرموز داخل القوس على درجة ثنائي الحد القياسية.

عند إعطاء كومة البكسلات $\{I_t(i, j)\}_{1 \leq t \leq N}$

مؤشر حركية التغير نحصل على احتمالية التغير $\rho(i, j)$ ونحصل على نفس النتيجة في الفقرة 2 في معادلة

الضجيج مع أخذ النتيجة 1 لمصفوفة كشف التغير في ذلك الموقع:

$$\rho(i, j) = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{t=1}^N \sum_{l=t+1}^N \hat{M}_{t,l}^W(i, j) \quad (11)$$

إن الدليل ρ يملك القيم من 0 للثابتة بشكل أكيد (حيث لا تغير زمني في السلاسل الزمنية) وحتى القيمة 1

لغير الثابتة (وتدل على تغير البكسلات لزوجي تواريخ اختيارية).

5.2 خريطة حركات التغير في صور السلاسل الزمنية SAR:

باعتبار مصفوفة CDM تملك قيم منطقية لمعلومات التغير فإن المؤشر ρ يقدم القيمة الكلية للأزواج

المتغيرة $(I_t^W(i, j), I_l^W(i, j))$ الموجودة في مكدس البكسلات من القياسات المتشابهة الزمانية والمكانية المعطاة في

القسم 2) ρ هي توقع التغيرات في مختلف التجارب المنطقية) وبالتالي خريطة المؤشرات الحركية المعطاة في المعادلة

11 تملك بعض الضجيج النبضي لتغيرات عابرة منعكسة كالتي استخدمناها عند إنشاء مصفوفة CDM في مجال

البكسل. وهكذا فإن خطوة التنظيم ضرورية لاستخلاص خريطة حركية التغير وإن الاستراتيجية الموضحة في الأسفل

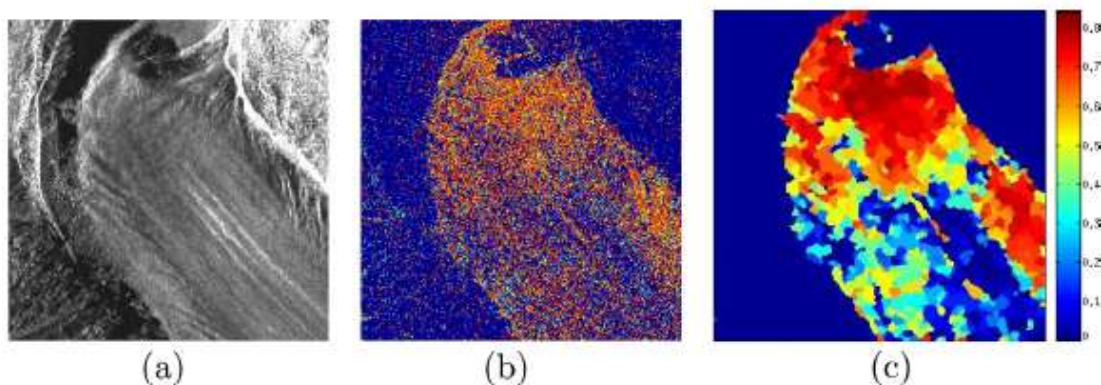
تعتمد على مستوى التغير الحاصل واستخدام قيم وسطى وقياسية وكلاهما مأخوذتين في إطارات متكررة.

المعادلتان 12 و 13 تقدمان مرشحات تكرارية عند استخدام المسح خط بخط للصورة وهذا المسح أظهر صلة بمستويات خريطة حركية التغير فوق المناطق الجليدية والبراكين المتأثرة بالضجيج النبضي. وتجدر الإشارة أن طرق المسح الأخرى كمسح هيلبرت بيانو ممكن تطبيقه بالاعتماد على البيانات الاحصائية أو المحتوى الهندسي:

$$D_1(i, j) = \text{Median} \left[\begin{array}{cccccc} D_1(i-u, j-v) & \dots & D_1(i-u, j-1) & D_1(i-u, j) & D_1(i-u, j+1) & \dots & D_1(i-u, j+v) \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ D_1(i-1, j-v) & \dots & D_1(i-1, j-1) & D_1(i-1, j) & D_1(i-1, j+1) & \dots & D_1(i-1, j+v) \\ D_1(i, j-v) & \dots & D_1(i, j-1) & \rho(i, j) & \rho(i, j+1) & \dots & \rho(i, j+v) \\ \rho(i+1, j-v) & \dots & \rho(i+1, j-1) & \rho(i+1, j) & \rho(i+1, j+1) & \dots & \rho(i+1, j+v) \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \rho(i+u, j-v) & \dots & \rho(i+u, j-1) & \rho(i+u, j) & \rho(i+u, j+1) & \dots & \rho(i+u, j+v) \end{array} \right] \quad (12)$$

$$D_2(i, j) = \text{Mode} \left[\begin{array}{cccccc} D_2(i-u, j-v) & \dots & D_2(i-u, j-1) & D_2(i-u, j) & D_2(i-u, j+1) & \dots & D_2(i-u, j+v) \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ D_2(i-1, j-v) & \dots & D_2(i-1, j-1) & D_2(i-1, j) & D_2(i-1, j+1) & \dots & D_2(i-1, j+v) \\ D_2(i, j-v) & \dots & D_2(i, j-1) & D_1(i, j) & D_1(i, j+1) & \dots & D_1(i, j+v) \\ D_1(i+1, j-v) & \dots & D_1(i+1, j-1) & D_1(i+1, j) & D_1(i+1, j+1) & \dots & D_1(i+1, j+v) \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ D_1(i+u, j-v) & \dots & D_1(i+u, j-1) & D_1(i+u, j) & D_1(i+u, j+1) & \dots & D_1(i+u, j+v) \end{array} \right] \quad (13)$$

حيث D_1 و D_2 هما مؤشرا حركية التغير بعد مرشحي المتوسط والصيغة و يدل الأس \uparrow على أن المصفوفة شعاعية (بغض النظر عن الترتيب بما أن المتوسط والصيغة ثابتان بدقة تبعا للضبط المطلوب). حجم نافذة التحليل الهندسي للمرشحين هي $(2v+1) * (2u+1)$. وبهذه الطريقة فإن معامل المرشح المتوسط فعال جداً بالنسبة للقيم غير المرغوبة) حيث تعاني خريطة حركية التغير من التغيرات العابرة الشكل (2b) للتوضيح) ومعامل الوضع في معظم الأحيان يحدث قيم تكرارية) يتم تطبيقه على القيم المتوسطة والتي يمكن أن تنظم القيم الحادة. الشكل (2c)



الشكل (2) تحليل حركية التغير لصور تيرا سار. a بمرشح رياضي. b الحركية بضجيج بسبب مجالات البكسل. c بعد استخدام المرشح المقترح.

6. كشف التغير متعدد الأزمنة:

تكشف CDM في كل مكس بكسل عن التغير في الزمن للأماكن أو الميزات في كل موقع بكسل والذي يساعدنا على تصور فترات تطور المكان في السلاسل الزمنية (على سبيل المثال التغيرات البطيئة كالتآكل وتطور الغطاء النباتي وغيره أو التغيرات المفاجئة كالكوارث الطبيعية: موجات المد والجزر والزلازل وانفجار البراكين وغيرها).

6.1 خرائط التغير الزوجية:

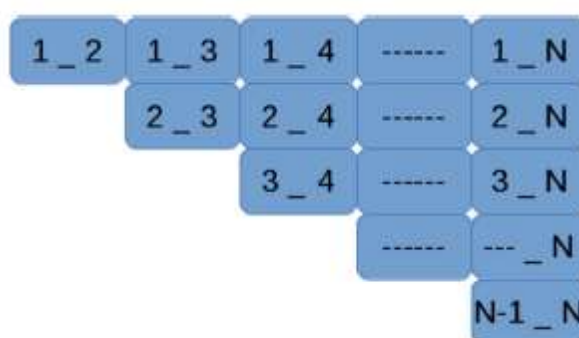
يمكن تحويل مصفوفة CDM2 في المعادلة 6 إلى خريطة تغير متعدد الأزمنة من كل تاريخين للسلاسل

الزمنية:

$$CM_{t,l} = \{\widehat{M}_{t,l}^w(i,j)\}_{\substack{1 \leq i \leq N_c \\ 1 \leq j \leq N_l}} \quad (14)$$

حيث $CM_{t,l}$ هو خريطة التغير بين تاريخين t و l . حجم كل صورة في السلاسل الزمنية.

عندها يمكن أن نحصل على $N(N-1)/2$ خريطة تغير.



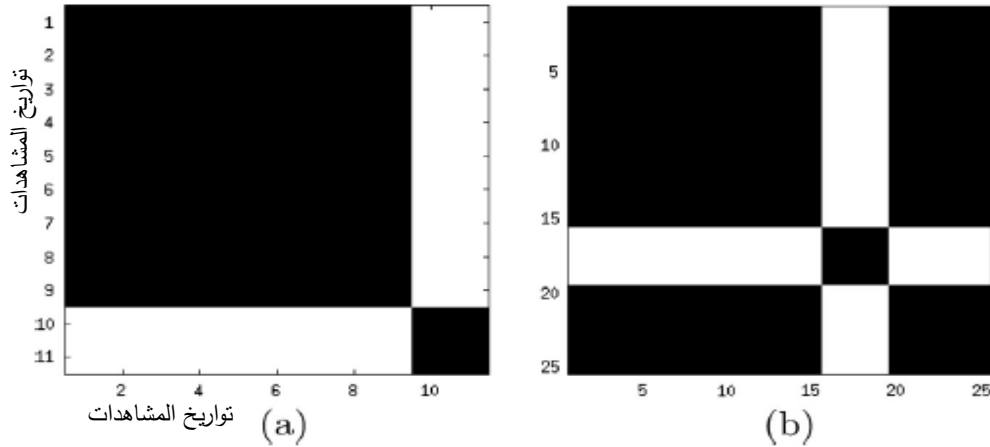
الشكل (3) يبين خريطة التغير الزوجية

6.2 كشف تغير d-length :

من خلال خرائط التغير الزوجية المعطاة في المعادلة 2 نجد أن هناك العديد من الطرق لاستخدامها من أجل الحصول على نتائج أفضل للكشف المتغير. على سبيل المثال يؤثر الانحراف بين كل تاريخين متتاليين t و $t+1$ على

خرائط التغير كما تعطي الاعمدة أو الأسطر خرائط التغير بين التاريخ المرجعي t وكل التواريخ الاخرى l في السلاسل الزمنية. باستخدام خرائط التغير الزوجية عمود/سطر في التجربة للحصول على خرج واحد فقط لخريطة التغير لكل تاريخ في السلاسل الزمنية. نحن نقصد كشف التغيرات والتي تؤثر على الأقل على d صور متتالية مختلفة. إن المثال في الشكل 4a يظهر مصفوفة كشف التغير موضحة تغيراً حاصلاً في آخر تاريخين في السلاسل الزمنية. حيث تدل المحاور على أبعاد المصفوفة $N*N$ والتي يتم اختيارها حسب الفترة الزمنية لمنطقة التغير المراد مراقبتها والتي هي تواريخ المشاهدات. والشكل 4b يظهر التغير الحاصل في التاريخ السادس عشر والمستمر لأربعة تواريخ. هذا يدعى خريطة تغير d -length المقابلة للتاريخ المرجعي t المعطى بالعلاقة:

$$CM_t(d) = \begin{cases} 0 & \text{if } \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq t}}^N CM_{t,l} < N - 1 - d \\ 1 & \text{if } \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq t}}^N CM_{t,l} \geq N - 1 - d \end{cases} \quad (15)$$



الشكل (4) يظهر مصفوفة كشف التغير خلال المدة d -length في مناطق التغير

بالإضافة لذلك ، إذا كان حدث تغير مفاجئ في منطقة الرصد فإن الصور الملتقطة خلال التواريخ d الحاصلة بعد الحدث وحيث أن التغير لايزال يظهر، ستكون مختلفة لكل التواريخ الأخرى. في منطقة التغير يمكننا الإشارة إلى حالتين:

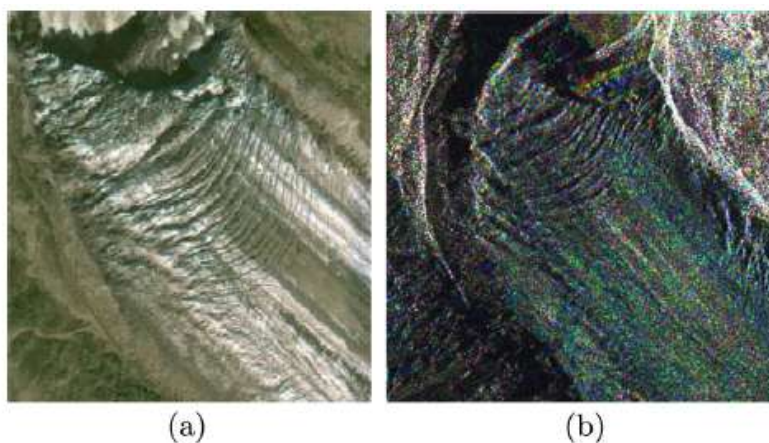
- 1- عند مقارنة الصورة المرجعية t الحاصلة في الفترة d بكل الصور الأخرى في الفترة d ، سنحصل على $d-1$ نتيجة غير متغيرة ويعبر عنها بـ 0. وعند مقارنتها بالصور التي ليست بالفترة d سنحصل على $N-d$ نتيجة متغيرة يعبر عنها بـ 1 .
 - 2- وعدا ذلك سنحصل على d نتيجة متغيرة وعلى $N-1-d$ نتيجة غير متغيرة.
- ولذلك لتعين بكسل في صورة t خلال الفترة d في طبقة التغير، يجب أن نحصل على الأقل على $N-1-d$ نتيجة تبين الاختلاف عن كل البكسلات في مكس البكسلات.

7. النتائج التجريبية:

7.1 وصف مجموعة البيانات:

7.1.1 صورة السلاسل الزمنية لـ TerraSar:

من أجل استقطاب وحيد القطبية وعالي الدقة لصور SAR ، فإن المصفوفة المقترحة تم اختبارها خلال سلاسل زمنية من 25 رؤية واحدة مركبة تصاعدياً لصور Terra SAR-X حاصلة بين 6/تشرين الثاني/2009 وإلى 14/أيلول/2011 وبدقة 2-m وباستقطاب HH فوق شاموني مونت بلانك (فرنسا) وهي منطقة مختلطة من تضاريس جبلية وأنهاار جليدية في جبال الألب. ومناطق مشجرة وبعض القرى المستقلة. في هذه المنطقة، يحصل عدة أنواع من التغيير مثل تطور سطح الأنهار الجليدية. تغيرات مستمرة مثل التغيير الموسمي واختفاء الجليد شيئاً فشيئاً عن الغابات والأنهار الجليدية. إن موقع الاختبار المختار للصور الجزئية المشاهدة من المنظر المتاح فوق ارجنتيير موجود في الشكل (5) .



الشكل (5) يظهر مسطح جليدي يتحرك 20 م في اليوم a صورة ضوئية b صورة مركبة لونية

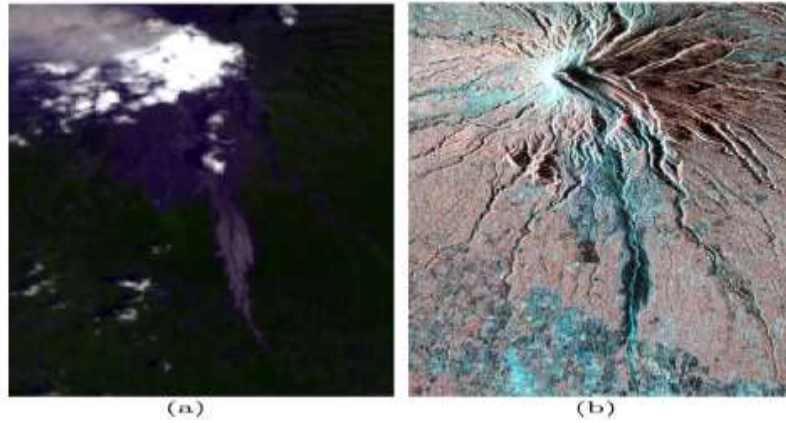
7.1.2 صور السلاسل الزمنية لـ RADAR SAR2 :

من أجل استقطاب كامل لصور SAR فإن النهج المقترح يبين مجموعة مكونة من 7 صور باستقطاب تنازلي رباعي الأطراف ، مأخوذة من 29/كانون الثاني/2009 إلى 22/حزيران/2009 و بدقة 8-m .

7.1.3 صور السلاسل الزمنية لـ ALOS-POLSAR :

إن المنهج قد تم اختباره على صورة مزدوجة الاستقطاب لمجموعة من 11 صورة تصاعدياً لـ POLSAR وبدقة 23m واستقطاب HH و HV. صورة السلسلة مأخوذة بين 28/حزيران/2007 و 1/شباط/2011 في موقع براكين ميرابي في ماليزيا الشكل(6) .

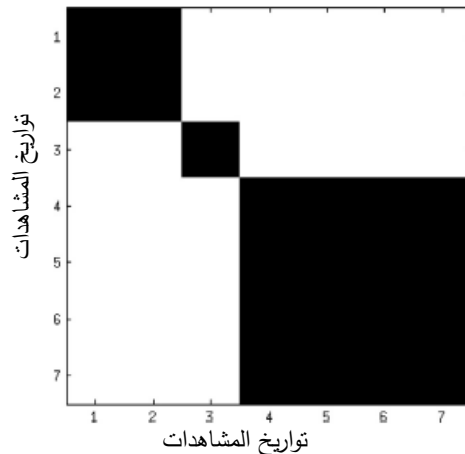
ميرابي في وسط جاوة اندونيسيا وهو معروف كأحد البراكين الخطيرة على مستوى العالم وذلك بسبب نشاطه البركاني المستمر وموقعه في منطقة ذات كثافة سكانية، وهذه السلاسل تتضمن صوراً لثورانه في 2010 متضمنة تسع صور قبل انفجاره من / 8 حزيران 2007 إلى 16 أيلول 2010/ وصورة خلال انفجاره في 10 تشرين الثاني 2010 وصورة بعد الحدث 1/شباط/2011.



الشكل (6) موقع اختبار بركان ميرابي a صورة بدقة 15م b صورة مركبة لونية

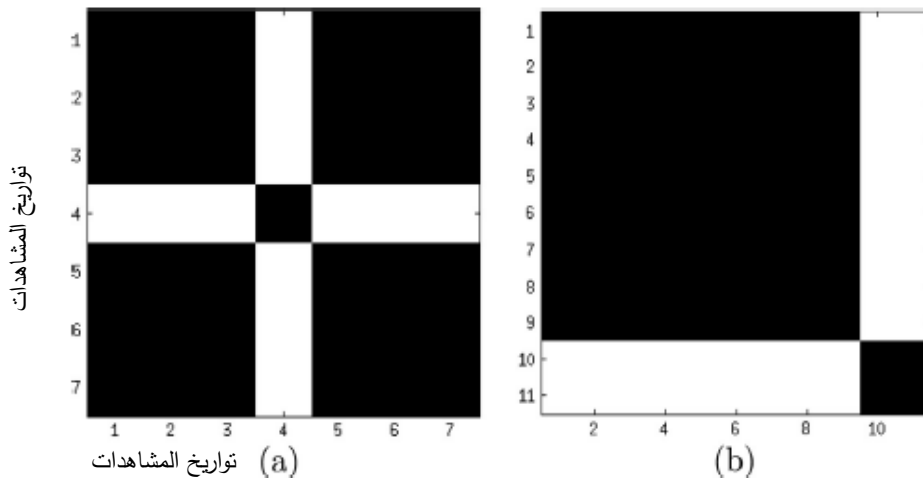
7.2 تحليل CDM :

من أجل كل بكسل سنحصل على CDMs والتي تحوي CDM1 التي هي عبارة عن التغيرات الأولية للكشف بين تاريخين في السلاسل الزمنية. ومن هذه النتيجة، فإن البكسلات غير المتغيرة في كل مكس تستخدم كمجاورة ليعاد تجربتها للحصول على نتائج أكثر دقة لكشف التغير CDM2. لذلك، فإن شكل CDMs يكشف التغيرات الممكنة في الزمن لكل بكسل من مكس البكسلات. على سبيل المثال، التغيرات الموسمية في فترات ثابتة يمكن مراقبتها على CDMs كرقع سوداء. الشكل 7 يظهر فترتين ثابتتين في المنطقة الجليدية في سلاسل RADARSAT2 واحدة في الفترة ما بين 29/كانون الثاني/2009 إلى 22/شباط/2009 (تاريخ 1 و 2) حيث يغطي الثلج سطح النهر.



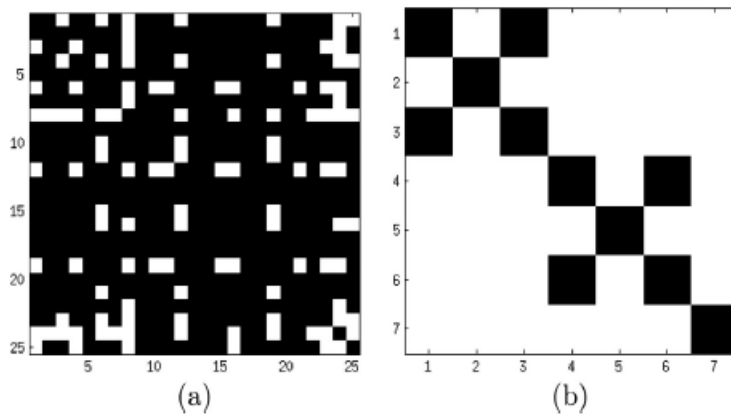
الشكل (7) يظهر CDM متضمنة فترتين ثابتتين. التاريخ 1 إلى 2 : عندما يغطي الثلج السطح. التاريخ 4 إلى 7 : عندما يختفي الثلج.

والآخر من 11/نيسان/2009 إلى 22/حزيران/2009. التاريخ 3 والذي يظهر التحول بين فترتين ثابتتين حيث يبدأ الجليد بالذوبان. إن الـ CDMs تظهر التغيرات المفاجئة مثل ظهور هدف منفصل الشكل 8a أو انفجار البركان في تاريخين من السلاسل الزمنية 8b .



الشكل (8) CDM عند التغيرات المفاجئة. a سيارة تقف في كراج. b انفجار بركان ميرابي في تاريخين من السلاسل الزمنية لـ ALOS SAR

في هذه الحالة، البكسلات في الهدف و موقع الخاصية لهذه التواريخ سيكون مختلفاً تماماً عن باقي البكسلات في مكس البكسل. إن الـ CDMs في المناطق المتحركة تبدو غير منظمة في الدراسة كمجالات الأنهار الجليدية في المسارات المتحركة 9a. في هذه المنطقة البكسلات غالباً تتغير من تاريخ لتاريخ في السلاسل الزمنية وهنا عدد البكسلات غير المتغيرة يكون قليل.



الشكل (9) يظهر CDM في المناطق المتحركة

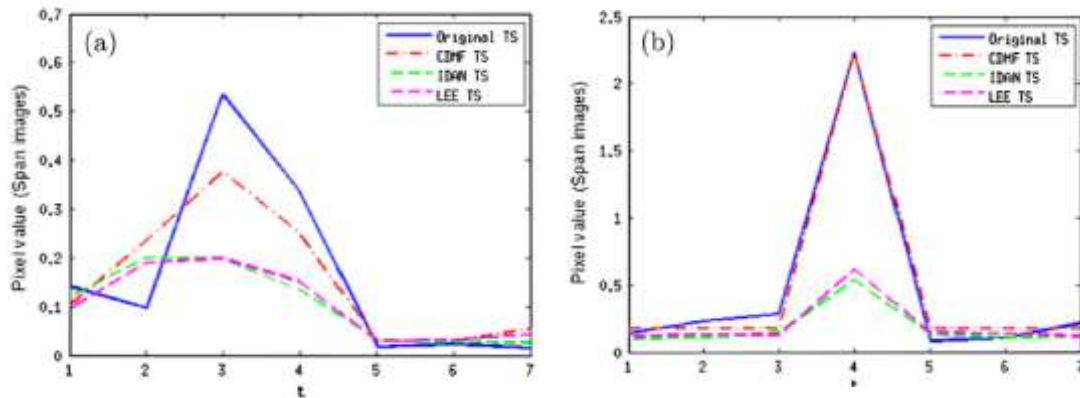
7.3 نتائج تصفية السلاسل الزمنية في صور POLSAR :

إن نتائج مصفوفة التصفية CDMF بالاعتماد على CDM على صور السلاسل الزمنية لـ SAR وحيدة القطبية مقدمة من (Le et al. (2014b). تستخدم مجموعة البيانات الخاصة بـ RADARSAT2 لتجربة CDMF في صور السلاسل الزمنية لـ POLSAR .

تمت الاستفادة من مجموعة رسوم بيانية لمسافة ويشارت لعينات التدريب لأربع طبقات والتي يمكن مراقبتها في منطقة الدراسة: منطقة متجانسة مثل العشب ومنطقة غابات ومناطق حضرية ومناطق جليدية. ولأنه لم يكن من الممكن إيجاد مرشح متعدد الأزمنة آخر لصور POLSAR ، سيتم استخدام اثنين من المرشحات المكانية المنكيفة: مرشحات مكررة (Lee et al., 1999b) و مرشحات إيدن (Vasile et al., 2006) وذلك لمقارنتها بالمرشح الذي تم التوصل إليه.

من خلال تحليل CDMS في مناطق مختلفة (الفقرة 6.2) يمكن الحصول على خصائص مرشح على أساس CDM. في الشكل 10a يظهر استجابة السلاسل الزمنية لهذا المرشح (Change Detection Matrix Filter) CDMF، حيث تظهر السلاسل الزمنية مرتبطة تماماً بأحد السلاسل الزمنية الأصلية ولكن مجال التذبذب لقيم بكسل صورة الـ SPAN سيكون أخفض وهذا يعني أن البقع أيضاً قد خفضت بينما يضمن المرشحان المكانية سلاسل القيم الأصلية. الشكل 10b تظهر الاستجابة في الهدف المعزول بعد المرشح حيث نلاحظ أنه يتم حفظ قيم البكسلات في مكان التغيير كما تحفظ المعلومات.

في منطقة الأنهار الجليدية حيث يتحرك السطح فإنه يتم كشف عينات قليلة غير متغيرة الشكل 9b ولذلك الخصائص الزمنية يتم حفظها بعد عملية حساب المتوسط.



الشكل (10) يظهر صور استجابات السلاسل الزمنية لمرشحات مختلفة

الجدول (1) ويمثل تقييم كمي ومقارنة النهج المقترح بمرشحي لي وإيدن.

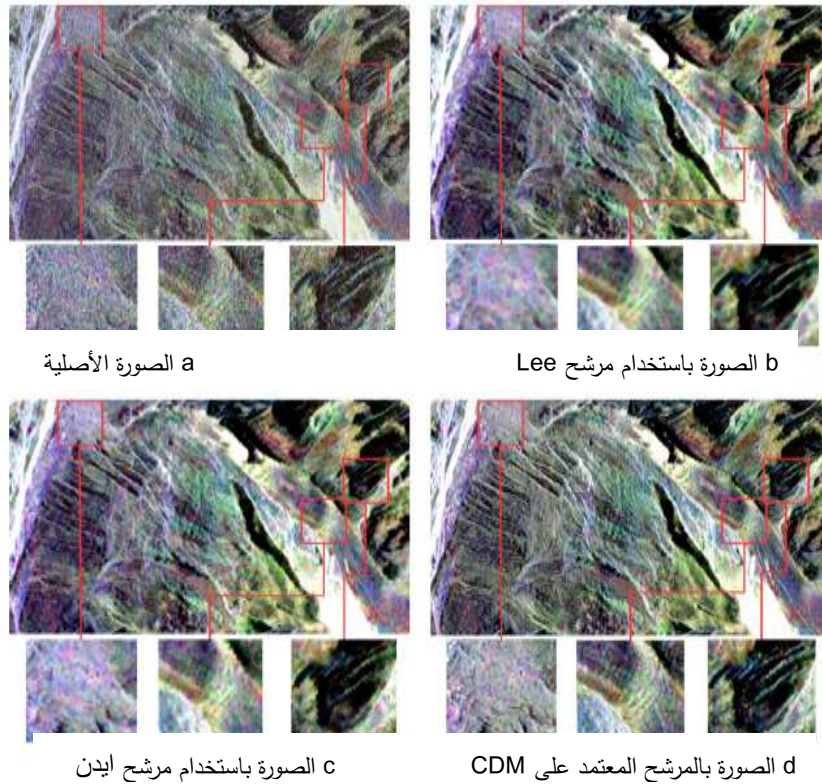
No	ENL(SPAN image)				BRISQUE(Pauli basis image)		
	Origin	LEE	IDAN	CDMF	LEE	IDAN	CDMF
1	1.2141	16.1612	17.4376	7.6724	31.8402	32.712	22.7243
2	1.1460	6.8057	8.6144	7.2199	31.2694	30.5605	22.8843
3	1.1093	6.7130	6.9368	7.6584	30.0687	31.3334	21.0879
4	0.9696	4.4633	4.7800	6.6588	34.6861	35.3290	24.0789
5	1.4219	10.7176	10.6537	9.2532	35.7831	36.5375	23.7504
6	1.3489	10.2349	12.5796	9.7542	41.8285	37.8933	27.5783
7	1.6278	12.1243	8.9714	9.9847	42.7131	37.3514	27.9671
Mean	1.2625	9.6028	9.9962	8.3576	35.4555	34.5310	24.2959

يستخدم رقم لوك المعياري في صورة SPAN لتقييم الحد من الضجيج ويستخدم مقيم طرفي لا مرجعي للصورة بجودة مكانية للمحافظة على الميزات والنسيج (BRISQUE) نموذج (Mittal et al., 2012) على الصور المطالية

في أساس باولي. وفقاً لمؤشر ENL، فإننا نجد أن مستوى التصفية للمرشحين المكانية لكل صورة مختلف في حين أن نتائج CDMF ثابتة إلى حد كبير على السلاسل الزمنية. ولكن القيمة الوسطى لـ CDMF أقل قليلاً من المرشحات المكانية. ومن ناحية أخرى فإن CDMF تحفظ ميزات المعلومات جيداً وفقاً لمؤشر (BRISQUE) وكلما اقترب هذا المؤشر من الـ 0 كلما تمت المحافظة على الميزات أكثر.

الصورة المرشحة في الشكل 11 توضح بأن الطريقة المقترحة ستقلل البقع بشكل كبير مع المحافظة على خصائص تفاصيل الصور الأصلية.

بمقارنة بصرية بمرشح ايدن ومكرر لي سنجد أن هذين المرشحين يقومان بطمس معالم الصورة المصفاة. بينما التصفية التي تعتمد على CDM تظهر القوام مع التفاصيل الصغيرة والتي لا يمكن تمييزها في الصورة الأصلية.



الشكل (11) نتائج الصور التي تمت تصفيتها باستخدام المرشحات

7.4 نتائج تحليل حركات التغير:

في هذا القسم سيتم تطبيق المنهج المقترح على سلسلتين زمنيتين:

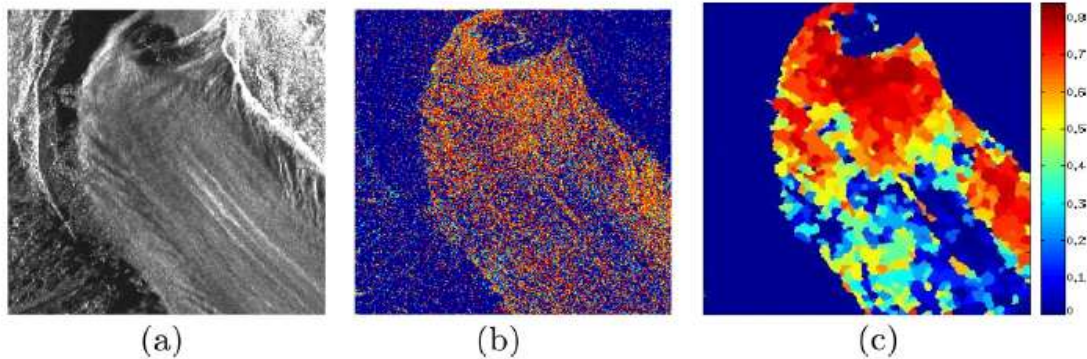
(1) السلاسل الزمنية لـ TERRASAR-X على أنهار أرجنتينيير حيث السطح يتحرك 20 متر في

اليوم، كمثال أكثر من بكسل بين تاريخين متتاليين.

(2) السلاسل الزمنية ALOS-POLSAR حيث يحدث تغير مفاجئ عند اندفاع بركان ميرابي عام

2010.

خريطة حركات التغير لنهر ارجنتينيير موجودة في الشكل 12، وتعكس الوضع الفعلي عند مقارنتها بالصورة المطالية الوسطية المحسوبة لكل السلاسل الزمنية الشكل (12a) والتي يمكن اعتبارها كمرجعية في هذه الحالة. الشكل (12b) يظهر خريطة حركات التغير بضجيج متحول وفقاً لتحليل التغير في مجال البكسل. بعد تنظيم المنهج المقترح والذي يمكن مشاهدته في الشكل (12c) والتي طبق على منطقة الأنهار الجليدية فإن مؤشرات حركات التغير عالية جزئياً ($\rho \approx 0.7$). عند انهيار جبال سيراكس ومناطق الحركة السريعة للصدوع فإن مؤشر الحركة يكون ($\rho \approx 0.9$). وعلى عكس ذلك فإنه في منطقة ثابتة (كالصخور) حيث لا يحدث تغيير فإن مؤشرات حركات التغير بطيئة ($\rho \approx 0.1$). بمجموعة بيانات ALOS-POLSAR لبركان ميرابي، فإن خريطة حركات التغير أيضاً مهمة الشكل (14b). في هذه السلاسل الزمنية، فإنه يمكننا الحصول على المعلومات ذات صلة بانفجار البركان. مؤشر حركة التغير لرواسب ثوران البركان هي ($\rho \approx 0.18$). والفصل بين عمليتين متتاليتين لأخذ المعلومات في السلاسل الزمنية ليست دائماً 46 يوم - وهي مدة دورات POLSAR يتم خلالها الحصول على البيانات وتكرر عادة من 8-9 مرات وذلك من أجل تغطية شاملة على مدى العام- وإنما بعض الفواصل قد تصل لتسعة أشهر وسنة. وهكذا فإنها ليست مريحة لرصد التغيرات - في المساحات المزروعة على سبيل المثال- من خلال مجموعة البيانات هذه. ومع ذلك قد تم تسجيل بأن مؤشرات حركات التغير في الأراضي المزروعة - حقول الأرز هي 0.4- وأكثر المناطق الحيوية ومعظم المؤشرات لمناطق الدراسة تملك حركات بحوالي 0.6 وفقاً للأنشطة البشرية.



الشكل (12) يظهر حركية التغير لصور السلاسل الزمنية لرادار تيراسار

7.5 نتائج كشف التغير:

إن نتائج كشف التغيرات أجريت باستخدام مجموعة بيانات ALOS-POLSAR وهذه البيانات متاحة ويمكن الحصول عليها عن طريق الانترنت. الشكل 13a يظهر مواقع العينات المختارة لغرضيين:

- 1- من أجل تحديد عتبة تجريبية للاختبارات المتشابهة، تم اختيار أربع طبقات والتي يمكن مراقبتها على صور السلاسل الزمنية.

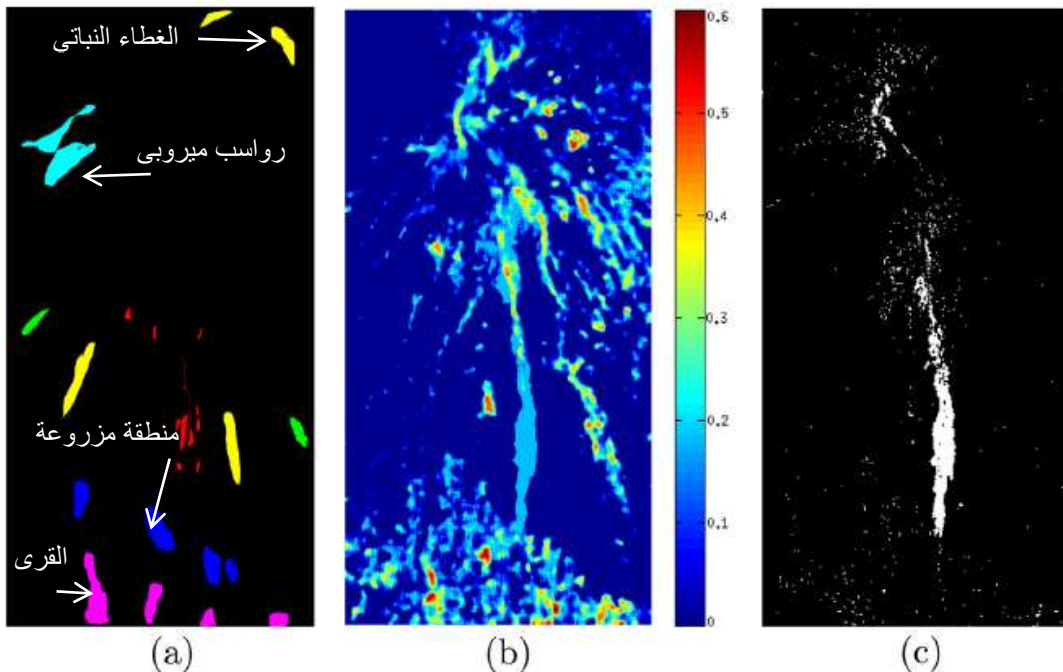
- مثال: منطقة مزروعة، الغطاء النباتي، ورواسب ميروبي قبل 2010 والقرى. كما هو واضح على الشكل (13)
- 2- من أجل التقييم الكمي لخريطة كشف التغير فإن العينات الواقعية تم استخراجها يدوياً بالاعتماد على التفسير البصري للمناظير البصرية وبالإشارة إلى البيانات الميدانية الموضوعية من قبل شارونبير 2013 و كوموروفسكي 2013 وسوليخيان 2015.

الشكل (13C) يظهر خريطة تغير بطول 2 م CM_{11} المقابلة ل 11 صورة من السلاسل الزمنية بالمقارنة لكل الصور الأخرى. في حالتنا، تاريخ الحدث معروف يمكن استخلاص خريطة التغير مباشرة المقابلة لهذا التاريخ. وإذا لم نعرف تاريخ الحدث في السلاسل الزمنية فإن تحليل مصفوفة CDMS سيكشف تاريخ مدة التغير. الشكل (8b). ومن الجدير بالذكر أن نتائج تحليل التغير لخريطة حركات التغير الشكل (13b) حساسة لجميع أنواع التغيرات في كل صور السلاسل الزمنية. ولذلك التغيرات المفاجئة التي تظهر في فترات قصيرة (رواسب البركان) واضحة كالتغيرات المستمرة -الحاصلة في المناطق الزراعية- التي تحدث على طول السلاسل الزمنية تظهر بمستوى مختلف من حركات التغير. بينما التغيرات الحاصلة على خريطة بطول 2 م الشكل (13C) متعلقة بالصور الإحدى عشرة مختلفة وأكثر دقة.

وتسمح للمستخدم النهائي من تميز التغيرات النهائية وفقاً لانفجار البركان من المناطق الأخرى المتأثرة بتطور منتظم.

نتائج كشف التغير: لما كان من الصعوبة الحصول على عينات لدراساتها فقد تمت الاستعانة ببعض الأبحاث التي قامت باستخدام عينات على أرض الواقع. حيث تمت مقارنة 5638 عينة واقعية لطبقتين متغيرة وغير متغيرة. وتم الحصول على 2319 عينة صحيحة متغيرة و 102 بكسل خاطئ متغير. بينما غاب 457 بكسل متغير وهي البكسلات التي تم تعيينها كبكسلات غير متغيرة.

نتائج كشف التغير الحاصلة تملك دقة عالية 90.09% وبخطأ محدود 4.21% للإشارات الكاذبة 16.46% إنذارات مفقودة و 9.91% أخطاء شاملة. إن المزيج من جميع المعلومات الحاصلة في السلاسل الزمنية - من كلا المتغيرة و المعلومات الزائدة- يزيد من دقة كشف التغير.



الشكل (13) تحليل التغير لصور ثنائية الاستقطاب لرادار ALOS-POLSAR

الجدول (2) يمثل نتائج مصفوفة كشف التغير مع نسب الدقة والخطأ

الطبقات	العينات الصحيحة	البكسلات الخاطئة	البكسلات الغائبة
المتغيرة	2421	102 بكسل $4.21\% = 2421/100 * 102$	457 بكسل $16.46\% = 2760/100 * 457$
غير المتغيرة	3217	—	457 بكسل متغير تم تعيينها كأنها غير متغيرة
المجموع	5638	خطأ محدود 4.21%	إنذارات مفقودة 16.46%
أخطاء شاملة $9.91\% = 5638/100 * (457+102)$			

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذه المقالة تقديم طريقة جديدة لتحليل صور السلاسل الزمنية لـ SAR و POLSAR وذلك بالاعتماد على مصفوفة كشف التغير CDM والتي تعرف المناطق المتغيرة وغير المتغيرة في السلاسل الزمنية من خلال مجموعة اختبارات متشابهة. تم استخدام هذه الطريقة من أجل مجموعة من المهام المختلفة والمعقدة:

التصفية متعددة الأزمنة لصور SAR/POLSAR المفيدة في البناء المرئي للبيانات، تحليل حركية التغير في المناطق التي تكشف تغيرات عالمية حاصلة على طول السلاسل الزمنية، الكشف المتغير المتعدد الأزمنة مع احتمالية التركيز على تغيرات الطول d لتواريخ محددة.

المرشح المعتمد على المصفوفة CDM يأخذ بعين الاعتبار معلومات التغير في عملية الترشيح. وبالتالي يتكون المرشح غير المتجانس من مناطق ثابتة وحركية من دون معلومات تغير ناعمة. المرشح المقترح عبارة عن مرشح زمني غير محلي يعمل على القيمة الوسطى بتجميع البكسلات المتغيرة لمتوسط العملية. وهو يقلل من البقع بشكل كبير مع المحافظة على الميزات الزمانية والمكانية. بالإضافة لذلك، نادراً ما تتقارب التصفية الزمنية متعددة الأزمنة لصور SAR/POLSAR ولذلك فإن النهج المقترح يقدم تصفية جيدة متعددة الأزمنة لهذا النوع من البيانات بحسب المؤشر المقترح لحركات التغير بالاعتماد على التغير الحاصل في السلاسل الزمنية. تعتمد الخريطة الزمانية المكانية على هذا المؤشر ولهذا فإنه يعكس معلومات مرتبطة بالتحقق من سلوك واتجاه تطور الميزات على المنطقة المدروسة.

إن المنهج المقترح والمعتمد على مزج خرائط التغير الزوجية يحسن أداء خريطة الكشف وعلاقتها بالتغيرات المفاجئة التي تحصل للبيانات.

المراجع:

- ALONZO-GONZALEZ, A., LOPEZ-MARTINEZ, C., SALEMBIER, P. *Filtering and segmentation of polarimetric SAR data based on binary partition trees*, IEEE Trans, Geosci, Remote Sens,51(2), 2012 , 593–605.
- ATTO, A.M., TROUVE, E., BERTHOUMIEU, Y., MERCIER, G., 2013. *Multidate divergence matrices for the analysis of SAR image time series*. IEEE Trans, Geosci. Remote Sens,51(2),2013, 1922–1938.
- BAZI, Y., BRUZZONE, L., MELGANI, F.M.. *An unsupervised approach based on the generalized gaussian model to automatic change detection in multitemporal SAR images*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, 43 (4),2005, 874–887.

- BOVOLO, F., BRUZZONE, L.. *A detail-preserving scale-driven approach to change detection in multitemporal SAR images*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, 43 (12),2963–2972.
- BRUNIQUEL, J., LOPES, A.. *Multi-variate optimal speckle reduction in SAR imagery*. Int. J. Remote Sens, 18 (3),1997, 603–627 .
- FRERY, A.C., NASCIMENTO, A.D.C., CINTRA, R.J. *Analytic expressions for stochastic distances between relaxed complex Wishart distributions*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 52 (2),2014, 1213–1226.
- T.T., ATTO, A.M., TROUVE, E. *Adaptive multitemporal filtering of polarimetric SAR images*. In: Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Quebec, Canada, pp,2014, 4560–4563.
- Le, T.T., ATTO, A.M., TROUVE, E.,NICOLAS, J.-M.,. *Adaptive multitemporal SAR image filtering based on the change detection matrix*. IEEE Geosci. Remote Sens. 2014b.
- LIU, G., ZHONG, H. *Nonlocal means filter for polarimetric SAR despeckling based on discriminative similarity measure*. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. 11(2),2014, 514–518
- SCHUBERT, A., FAES, A., KAAB, A., MEIER, E. *Glacier surface velocity estimation using repeat TerraSAR-X images: wavelet vs. correlation-based image matching*. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 82, 2013, 49–62
- SOLIKHIN, A., THOURET, J.C., LIEW, S.C., GUPTA, A., SAYUDI, D.S., OEHLER, J.F., KASSOUK, Z. *High-Spatial Resolution Imagery Helps Map the Deposits of the Large (VEI 4) 2010 Merapi Volcano Eruption and Their Impact*. Bulletin of Volcanology77, 2013, 20.
- SURONO, JOUSSET, P., PALLISTER, J., BOICHU, M.. *The 2010 explosive eruption of Java's Merapi volcano – a '100-year' event*. J. Volcanol.Geoth. Res., vol. 241–242, pp,2012, 121–135.
- VASILE, G., OVARLEZ, J.-P., PASCAL, F., TISON, C. *Coherency matrix estimation of heterogeneous clutter in high-resolution polarimetric SAR images*. IEEE Trans.Geosci. Remote Sens. 48 (4),2010, 1809–1826.
- VASILE, G., TROUVE, E., LEE, J.S., BUZULOIU, V. *Intensity-driven adaptive neighborhood technique for polarimetric and interferometric SAR parameters estimation*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 44 ,2006, 1609–1621.
- WASKE, B., BRAUN, M. *Classifier ensembles for land cover mapping using multitemporal SAR image*. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.64,2009,450.