

تقدير كميات الأتقاض في المناطق العمرانية المدمرة اعتماداً على المساحة التصويرية بالطائرات المسيّرة

د.م. أسامة درويش**

د.م. مجد الشوا*

الملخص

تعدّ المساحة التصويرية بواسطة الطائرات المسيّرة من غير طيار تقنية حديثة منخفضة التكاليف تُستخدم في عدّة ميادين هندسية. في هذه الدراسة تمّ اختبار هذه التقنية في مجال نمذجة النسيج العمرانية المتضررة وحساب حجوم أكوام الركّام. تعدّ الغمامة النقطية أحد أهم مخرجات المساحة التصويرية الرقمية. تمّ تجزئة وفصل الغمامات النقطية الجزئية الممثلة للأكوام من غمامة النقاط الكلية بشكل آلي متكامل، ثمّ تقدير حجوم الركّام المحصور تحت سطحها. تفترض الدراسة اعتماد غمامة نقطية كمصفوفة من النقاط ثلاثية الأبعاد دون وجود بيانات مساعدة، ثمّ تتمّ التجزئة وفق مراحل متتابعة، تبدأ من ترشيح النقاط المنفردة، ثم حساب مقادير ضرورية للمعالجة مثل اتجاه النواظم ودرجة الانحناء المحليّة ومخطط الانتقال من نقطة لجوارها. نقترح تخصيص الطريقة العامة المدعّوة بالمنطقة المتنامية باعتماد شروط تفرضها الخصائص المورفولوجية لأكوام الركّام. طبّقت الطريقة المقترحة على عيّنة من بيانات مسح جويّ لأحدى المناطق المدمرة شرق مدينة دمشق وقد أعطت نتائج دقيقة بكلفة حسابية بسيطة.

الكلمات المفتاحية: المساحة التصويرية الرقمية، المسيّرات، غمامة النقاط، التجزئة، المنطقة المتنامية، حجوم الأكوام.

* استاذ مساعد - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.

** مدرس - المعهد العالي للتخطيط الإقليمي - جامعة دمشق .

Rubble Volume's Estimate in Urban Damaged Areas Based on Photogrammetry by Drones

Dr. Majd ALSHAWA*

Dr. Osama Darwish**

Abstract

Photogrammetry by UAV or drones is a modern, low-cost technology used in several engineering fields. In the current study, this technique was been tested in the field of modeling damaged urban fabric and volume assessment of rubble's piles. Point cloud is one of the important digital photogrammetric outputs. The segmentation of the main point cloud to sub-clouds representing in a fully carried out automatically, and then estimating the volumes of the stacks stuck under its surface.

The study assumes that point cloud is adopted as a matrix of three-dimensional points without the presence of ancillary data. Segmentation was carried out according to successive phases starting from the filtering of the isolated points, then calculating some necessary amounts of treatment such as the normal's direction, the local degree of curvature, and the scheme of moving from one point to its vicinity. A proposed customized version of the general method called the growing region is presented; it adopts criteria imposed by morphological characteristics of the rubble piles. The suggested method was applied to a sample of aerial survey data for a destroyed area at the east of Damascus city, and gave accurate results at a minimal cost.

Keywords: Photogrammetry, Drone, Point Cloud, Segmentation, Pile's Volume

* Faculty of civil engineering – topography department –Damascus University

** High institute of regional planning –Damascus university

المقدمة:

يتناول هذا المقال تقنية المساحة التصويرية الجوية الرقمية بالاعتماد على أنظمة الطائرات المسيّرة كوسيلة فعّالة لإنتاج نماذج رقمية للنسج العمرانية المتضررة تكون الأساس في تقدير كميات الأنقاض كخطوة أساسية من أجل تقرير أسلوب معالجتها، وإدارتها من ترحيل أو تدوير أو كليهما.

1. المساحة التصويرية بالطائرات بلا طيار بين التقنيات المشابهة:

انطلقت الطائرات المسيّرة من غير طيار (drones or unmanned aerial vehicle (UAV) من مخابر البحوث العسكرية لأغراض، كالمراقبة والتجسس والاستطلاع، ثم ما لبثت وأن انتقلت لأيدي المستخدمين المدنيين، وتنوعت تطبيقاتها في العديد من المجالات كالنقل والمرور، التخطيط والإدارة العمرانية، الطبوغرافيا ومصورات المد، وغيرها.

تسعى تقنية المسيّرات لمنافسة تقنيات التصوير بالطائرات الجوية المأهولة من حيث جودة المنتج وسرعة الإنجاز، إلا أنها لا تزال تغطي مساحات أصغر.

استُخدمت الدرونات لتلبية حاجات المشاريع الهندسية ذات الامتداد الذي لا يتجاوز بضع كيلومترات مربعة، كمشاريع حفظ التراث الثقافي، وقد تجاوزت هذه المجالات عندما استُخدمت في مسح المشاريع الخطية كالطرق والسكك وخطوط نقل القدرة الكهربائية.

تمتاز تقنية الدرون من الطيران على ارتفاع منخفض الطائرات المسيّرة من غير طيار من التقاط صور مائلة (45° مثلاً) تحوي أجزاء من الواجهات، بالإضافة للأسطح مما يجعل المسح من هذا الارتفاع قابلاً للمقارنة بالمساحة التصويرية القريبة.

خلّفت الأزمة في سورية أضراراً جسيمة وواسعة على مختلف القطاعات بشكل عام، وكان للمناطق العمرانية نصيب كبير منها، وأنتجت كمّاً هائلاً من الدمار، ومناطق منكوبة تنتظر الإعمار أو إعادة الإعمار. إن المرحلة الأولى لمعالجة المناطق العمرانية المتضررة هي تقييم المباني السكنية والخدمية المتضررة جزئياً أو كلياً وتقييم الأضرار على الطرق وشبكات البنى التحتية بهدف الوقوف على حجم ومستوى الأضرار المركبة على النسج العمرانية. تعدّ قضية الأنقاض المتراكمة والناجمة عن الأضرار تحدياً أساسياً لا بد من معالجته من خلال رؤية شاملة تتطلب أرقاماً تقديرية لحجمها وخصائصها. يجب أن تكون التقديرات الكمية متوفرة بأيدي متخذي القرار ومخططي المدن، ما يمكنهم من اتخاذ القرار الصائب على عدة مستويات: الحي، و المدينة، والإقليم.

بعد الوقت المستغرق والتكلفة اللذان تنطوي عليهما الأساليب التقليدية تحدياً أساسياً لمرحلة إعادة الإعمار. فقد يستغرق في أغلب الأحيان أشهراً، ويتضاعف هذا الوقت وفق حالة المناطق المتضررة نظراً لصعوبة الوصول إليها، ولوجود أنماط مختلفة من النسج العمرانية في المدن السورية (سكن تقليدي، سكن طابقي متصل، سكن عالي منفصل، سكن عشوائي) مشتركة بين الأبنية المتضررة تفيد في اختصار وقت الرفع الطبوغرافي والنمذجة.

يبرز هنا دور المساحة التصويرية الرقمية باستخدام الطائرات (الدرونات) المسيّرة صغيرة وخفيفة الوزن، والتي تتيح خدمة سريعة وموثوقة لإنجاز الخرائط والمخططات المساحية والغرضية عالية الدقة بتكاليف رخيصة جداً بالنسبة للأساليب التقليدية كالمسح الجوي باستخدام الطائرات المأهولة أو المسح الطبوغرافي الأرضي.

تشابه الدرونات ثابتة الجناح الطائرات من حيث التحكم بها بواسطة الجنيحات والدفة وتخرق الهواء بانسيابية، مما يوفر من استهلاكها للطاقة، ويسمح بحمولات أكبر، إلا أنها تحتاج إلى نوع من الأرض المنبسطة من أجل الإقلاع والهبوط، لذا فقد تُطلق هذه الدرونات باستخدام اليد أو ما يشبه المنجنيق (الشكل 1).



الشكل(1): درون ثابت الجناح : FlyGeo® مزود بألة تصوير رقمية Mpx 24 وسرعة وسطية أثناء التصوير 39 km/h ووزن 2.8 kg .

أما النوع الثاني من الدرونات " ذات محركات دوّارة " يتراوح عدد محركاتها من 4-8 وتستطيع الارتفاع إلى مناسيب أعلى من درونات الجناح الثابت، وتتمتع بمزية الإقلاع والهبوط العمودي من المكان. تستطيع شفرات المحركات معاوضة حركة الرياح، كما تؤمن الثبات في الهواء من أجل التقاط صور بانورامية من نقطة واحدة، كما أنها تستطيع تغيير اتجاهها في المكان.

تتجه غالبية برامج معالجة صور الدرونات حالياً إلى صياغة نتائج معالجة الصور بشكل غمامات نقطية (point clouds) ثلاثية الأبعاد، مما يجعل هذه التقنية منافسة أيضاً لتقنيات المسح الليدري (Lidar) والليزري الأرضي المتحرك.

2. المسيرات الخاصة بالمساحة التصويرية:

توصلت تقنيات المستشعرات المايكرو- إلكتروميكانية (MEMS) لتصنيع مسيرات خفيفة الوزن، إلا أن المسيرات المزودة بألة تصوير ذات دقة تمييزية (resolution) كافية للتطبيقات المساحية يتراوح وزنها بين 2-12 kg كي تحمل مدخّرات (بطاريات) تؤمن لها جولات طيران تستمر من 5-30 دقيقة طيران.

تزوّد محطات توجيه الدرونات التصويرية ببرامج¹ تخطط جولات الطيران كي تؤمن صوراً متتالية على شكل شرائح، تتداخل الصور فيها طولياً فيما بينها بما لا يقل عن 60%، وينسب تداخل عرضي لا يزيد عن 50%.

تحدد المساحة الممكنة تغطيتها في كل طلعة بحسب ارتفاع الطيران، ونسب التداخل، وزمن عمل المدخّرة. تتطلب المساحة التصويرية المنجزة بتقنية الدرونات عادةً نسب تداخل عالية تتجاوز ما هو متعارف عليه في حالة الطائرات المأهولة، وذلك بسبب ضعف قدرة آلات التصوير اللامتريّة المحمولة عليها، والذي يعوضه الارتفاع المنخفض نسبياً للطيران من جهة، ونسب التداخل التي تجعل كل نقطة ناتجة ثلاثية الأبعاد تُحسب من أكثر من ثلاثة صور، من جهة أخرى، سمح تطور برمجيات الرؤية بمعونة الحاسب بأخذ صور مائلة متداخلة بأشكال متعددة، وهذا ما يميّز تقنية الدرونات القليلة التكلفة.

تصنّف الدرونات من حيث الشكل إلى نوعين أساسيين، الأول: ثابتة الجناح fixed wing UAVs والثاني: ذات محركات دوّارة rotary UAVs.

¹ Dronedeploy , pix4d capture

الصور بالنسبة لبعضها بعضاً. تمكّن القدرات المتطورة للحواسيب حالياً من معالجة مئات الصور دفعة واحدة وفق ما يسمى معالجة الحزمة (bundle adjustment). عقب توجيه الصور، يُعاد تشكيل الحزم الضوئية المشكّلة لكل منها وتُنشأ مجموعة من النقاط عند تقاطع كل شعاعين (أو أكثر) عائدين للنقطة ذاتها في الفراغ، تُسمى مجموعة النقاط الكثيفة تلك بالغمامة النقطيّة. تكتسب الغمامة النقطيّة إحدائياتها الأولى من مستقبل نظام التموضع العالمي GPS (GNSS)، ثم يتم تحسينها باستخدام نقاط التحكم الأرضية.

تتكون الغمامة النقطيّة من آلاف النقاط والتي قد لا تكون متجانسة وتعاني من فراغات. تخضع الغمامة، بشكل تقليدي، لعمليات ترشيح وإعادة تشكيل واختزال، ومن ثم تُنشأ شبكة مثلثات سطحية mesh بين كل نقاطها، أو يُبنى منها النموذج الارتقاعي الرقمي DEM: Digital Elevation Model الذي يمكن إكساؤه بالألوان المناسبة من الصور.

4. هدف البحث:

نسعى في مقاربتنا هذه إلى معالجة صور الدرونات بغرض الحصول على غمامة نقاط (point cloud) ثلاثية الأبعاد ذات كثافة منتظمة وإحداثيات دقيقة نحسب بواسطتها كميات الأنقاض والردم مباشرةً دون الحاجة لبناء نموذج سطوح رقمي DSM: Digital Surface Model. تهدف هذه الدراسة لتطوير منهجية معالجة سريعة وآلية لمنتجات المسح التصويري المسير بسرعة وبمستوى من الأتمتة يوازي سرعة اكتساب البيانات، حيث تكمن المشكلة البحثية الأساسية لهذه الورقة في فصل أكوام الركام والأثرية المخرجة من الأنفاق والأبنية المتهدمة بشكل آلي وتمييزها عن الأبنية السليمة وعن الشوارع وعن المساحات الخضراء



الشكل (2): درون متوسط الحجم ذو ستة محركات دوارة : FlyNovex hexacopter بوزن 6 kg، ودرون ذو أربعة محركات: PHANTOM 4 بوزن 1.38 kg - مثالين نمطين عن الدرونات المستقرة المستخدمة في المساحة التصويرية.

3. التحضير والمعالجة المسبقة للبيانات التصويرية:

تمرّ المعالجات بمخطط عمل (Workflow) ينطلق من إيجاد النقاط المشتركة في منطقة التداخل لكل من مزدوجات وثلاثيات الصور، ومن ثم اعتماد التقاطع بين الأشعة الضوئية الواردة منها لحساب الموقع الدقيق لمركز التعرض الضوئي لآلة التصوير، وحساب زوايا التوجيه الثلاث لمستوي المستشعر لكل صورة.

تكون النقاط المشتركة كثيفة وفائضة لدرجة كبيرة تكفي لحساب معاملات معايرة آلة التصوير والزيغ البصري على أطراف عدسة آلة التصوير قبيل حساب توجيه

اللامنتمية إحصائياً *Statistical Outlier Removal*، وتتألف من مرحلتين متتاليتين؛ في المرحلة الأولى ترتبط كل نقطة من الغمامة بعدد K من النقاط الأقرب إليها وتُحسب المسافات إلى هذه النقاط وتُخزن كشعاع من القيم مرافق لكل نقطة، حيث يتم توسيط قيم المسافات في كل شعاع، ويحسب المتوسط الحسابي، والانحراف المعياري، وتُخزن كقيمة مرافقة لكل نقطة أيضاً. في المرحلة الثانية تُحدد عتبة إزالة الضجيج D_{max} كمتوسط لجميع المتوسطات السابقة مضافاً إليه مضاعف n من متوسط الانحرافات المعيارية السابقة. عند تجاوز قيمة متوسط مسافات الجوار لأي نقطة العتبة المفروضة D_{max} فإنها تصنّف كغير منتمية، أو ما يسمى بنقطة ضجيج. تكرر هذه العملية لأكثر من دورة حتى انعدام النقاط المنفردة.

2.6. حساب النواظم ودرجة الانحناء:

الناظم على نقطة ما من الغمامة هو الناظم على السطح المحلي في هذه النقطة. هنالك عموماً طريقتان لتقدير النواظم؛ قبل بناء السطح، وبعد بناء السطح ويُقصد بالسطح هنا التثليث *mesh*. نلجأ للطريقة المسبقة لبناء السطح بسبب المعالجة المعقدة لإنشاء التثليث دون جدوى وخصوصاً أن الغمامة ستُجزأ عدة مرات. تؤول مشكلة حساب النواظم لتقدير سطح التماس المحلي في كل نقطة، أي مسألة الباس لمستوي باستخدام المربعات الصغرى للنقطة المدروسة ولعدد من جوارها K مفروض.

تحدّد K في دراستنا بحسب كثافة الغمامة وسنفرضها مساوية لنصف عدد نقاط المسح في المتر المربع. نجد التفاصيل الحسابية التي تراعي الحجم الهائل للغمامة في (Klasing et al, 2008). يصف الانحناء في المستوي تغيير اتجاه المماس لنقطة عند الانتقال لنقطة مجاورة، أما في الفراغ فيقاس تغيير اتجاه المماس أو الانحناء في مستويين متعامدين يحويان ناظم النقطة ويكون في أحدهما

وغيرها من تفاصيل النسيج العمرانية الموجودة في غمامة النقاط المنتجة تصويرياً. يسهل التقطيع المحلي أو التجزئة (*segmentation*) للأكوام عملية الحساب المؤتمت للحجم المحصور تحتها. من الجدير بالذكر أن أعمال تقدير كميات الركاب تتدرج تحت قائمة الأعمال متوسطة ومنخفضة الدقة، مما لا يستدعي إغراق معالجات الحواسيب بكثافات عالية للغمامات النقاط المنتجة، إلا أننا ومن جهة أخرى بحاجة لكثافة مقبولة من النقط من أجل فصل الأبنية بدقة كافية.

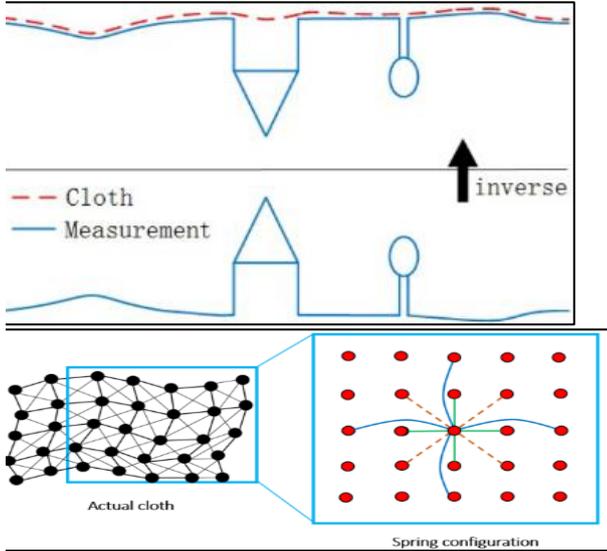
5. منهجية البحث:

تعتمد المنهجية المقترحة من قبلنا في هذه الدراسة على عدة مراحل متلاحقة:

1. فصل الأبنية والأشجار متوسطة الارتفاع عن سطح الأرض وما تبقى من تفاصيل السواء.
 2. فصل الأكوام عن سطح الأرض التي نتجت في الخطوة الأولى.
 3. حساب الحجم المحصور تحت سطح الأكوام.
- على الرغم من أن فصل الأبنية والأشجار ليس بالمرحلة الأساسية اللازمة في حساب الكميات وتقديرها، إلا أننا سنلجأ إليه لضمان عدم تصنيف أي كومة من الأتقاض كبناء منخفض أو العكس.
- قبل الانتقال لمرحلة التقطيع المحلي (*segmentation*) للغمامة، يتوجب إجراء عمليتين أساسيتين، هما: إزالة الضجيج، وبناء النواظم درجة النعومة.

1.6. إزالة الضجيج:

لا بدّ من إزالة الضجيج من الغمامة أولاً لضمان عدم وجود نقاط منفردة تؤدي لقمة محلية تنتج كمية وهمية، نستخدم طريقة (Rusu et al, 2008) من أجل إزالة الضجيج من الغمامة. تدعى الطريقة بإزالة النقاط



الشكل 3 . مفهوم القطعة القماشية كبنية حاسوبية ترتبط كل نقطة منها بنقاط الغمامة وتستطيل بشكل متناسب مع المسافة - المصدر : (Zhang,2016)

4.6. الفصل الآلي لأكوام الركام:

لا نقصد بالركام الأبنية القائمة المنهار جزء منها، إنما الأبنية المنهارة تماماً، أو الأجزاء المتساقطة على الأرض، أو أكوام الركام التي دفعتها الآليات على أطراف الطرق، أو حتى الأتربة المتوضعة بجانب الخنادق أو فتحات الأنفاق. تمتاز أكوام أنقاض الأبنية الناتجة عن دمار لكامل البناء أو تساقط أجزاء منه على الأرض عادةً بأشكال خشنة غير منتظمة، أما الأتربة التي خرجت نتيجة حفر الأنفاق أو تلك المجاورة لحفر الخنادق فهي تشكّل أكواماً وتلالاً يصل ارتفاعها إلى عدة أمتار، تكادست بها التربة بزوايا تواضع تتبع لطبيعة التربة، وقد غطت الأعشاب العديد منها. تساعد هذه المورفولوجيا في التعرف الآلي للأنقاض.

نستخدم في هذا البحث طريقة المنطقة المتنامية Region growing بوجود شرطي الناظم ودرجة الانحناء. طُرحت الطريقة من قبل (Rabhani et al., 2006; Jagannathan and Miller, 2007) في شكلها

التغير أعظماً K_1 ، وفي الآخر أصغرياً K_2 . يدعى الجداء $C = K_1 \times K_2$ بالانحناء الغوسي Gaussian Curvature. تكون النقطة واقعة في مستوي عند انعدام درجة الانحناء هذه. نجد في الدراسات ذات الصلة عدّة طرق لحساب K_1, K_2 ، إلا أننا سنعمد لباس منحنى من الدرجة الثانية ضمن جوار موضعي للنقطة D_k كما ورد في (Douros and Buxton, 2002).

3.6. الفصل الآلي للأبنية والأشجار:

طوّر الباحثون العديد من الخوارزميات لتجزئة غمامات اللايدر الجوي وتصنيفها، ولقد أثبتت هذه الخوارزميات نجاعةً في حالة الغمامة المستنتجة تصويرياً عند فصل الأبنية والأشجار عن سطح الأرض. إلا أنها تفشل في فصل أكوام الركام، كونها ذات طبيعة مختلفة وهذا ما يصبّب في المساهمة العلمية للبحث الحالي.

تمّ استخدام طريقة (Zhang, 2016) المدعومة بمحاكاة القطعة القماشية لفصل الأبنية والأشجار من الغمامة. تقلب الطريقة الغمامة وتتشيئ بنية حاسوبية تدعى بالرسم البياني Kgraph تحوي مساقط نقاط الغمامة في المستوي الأفقي، وترتبط فيها كل نقطة بجوارها الأقرب من الغمامة الأصل بصلاتٍ رسومية. تُلصق هذه البنية بالغممامة من الأسفل لتعمل كل نقطة كنباضٍ استطالته متناسبة مع بُعدها عن الغمامة الأصل، وبحسب قانون هوك تكون النقطة إما نقطة بناء أو نقطة شجيرة عند تجاوز الاستطالة لعتبة معينة (الشكل 3). تصنّف نقاط البنية حسب ارتباطها بالغممامة الأصل إلى ثابتة ومتحركة.

نذكر من أهم بارامترات الطريقة: الدقة التمييزية للبنية المفروضة، وعدد الدورات التكرارية للطريقة وبعض العتبات عن الارتفاع الأصغر للبناء وللشجر.

المنطقة المتنامية لالتقاط أكوام الركام واجتزاؤها من غمامات النقط:

الدخل: غمامة النقاط خالية الأبنية والأشجار $\{P\}$ ، النواظم $\{N\}$ ، درجة الانحناءات $\{C\}$ ، عتبة اتجاه النواظم N_{th} ، عتبة درجة الانحناء C_{th} ، عتبة الانحناء الأعظمي C_{max} ، عتبة عدد النقاط الأصغري لكومة ما N_c .

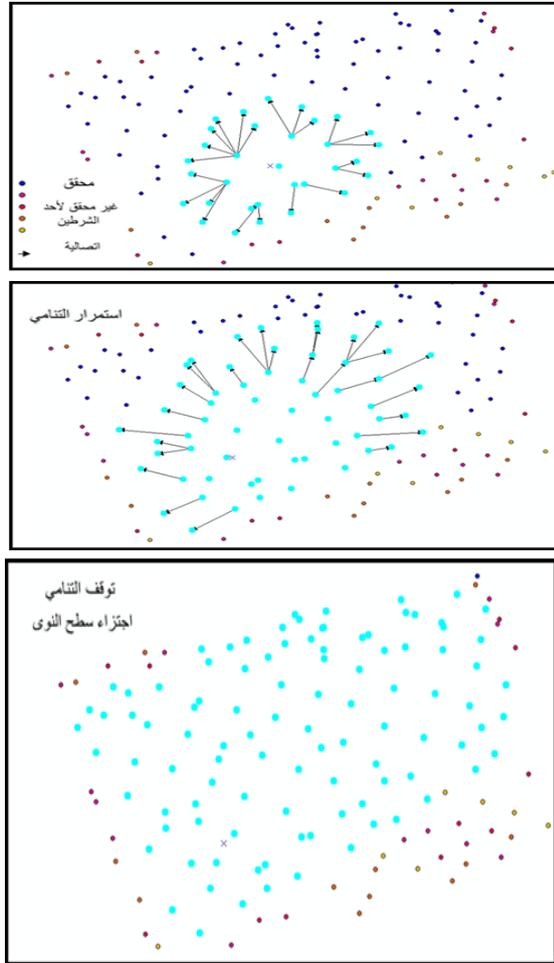
الحالة البدائية: $\Phi \leftarrow \{R\}$ مجموعة "المناطق"،
 $\{S_{initial}\}$ مجموعة النوى المرشحة التي عندها الانحناء أكبر من عتبة الانحناء الأعظمي C_{max}
 طالما $\Phi \neq \{S_{initial}\}$:

1. اختيار النقطة ذات درجة الانحناء العظمي لتكون النواة الحالية $\{S_{initial}\} \in \{P_{maxC}\} \leftarrow \{Sc\}$
2. إيجاد الجوار الأقرب الحالي $Bc\{i\}$ بالاعتماد على بنية الجوار الأقرب KNN لكل نقطة من $\{Sc\}$ الحالية.
3. مقارنة اتجاه النواظم N ودرجة الانحناء C لكل من الجوار الحالي والسابق $Bc\{i-1\}$ و $Bc\{i\}$
4. إذا كان:
 - (a) إما : النواظم $N_{Bc\{i-1\}}$ ، $N_{Bc\{i\}}$ متوازية وغير شاقولية ودرجة الانحناء متقاربة (حالة بناء متهدم مع سطح شبه سليم)
 - (b) أو : النواظم مبعثرة وتغير الانحناء سريع وعشوائي (حالة سطح خشن - بناء أو جزء متهدم عشوائياً)
 - (c) أو: كل من اتجاه النواظم ودرجة الانحناء متغير تدريجياً زيادةً أو نقصاناً (كوم أترية).
 إذن: إضافة مزيد من الجوار للنوى الحالية $Bc\{i\}$ $Sc\{i\} \leftarrow Sc\{i\} \cup$ والعودة إلى 2
 وإلا: إذا كان عدد النوى الحالية أكبر من عتبة العدد المفروضة:

- حفظ النوى كمنطقة $\{R\} \leftarrow Sc \cup \{R\}$

الأصلي، تعتمد الطريقة النقاط نقطة من الغمامة تدعى النواة، وإضافة نقاط جديدة لها من الجوار طالما أنها تحقق شرطاً معيناً، كالانتماء لسطح واحد. تُكرر الطريقة وتتوسع النوى لتصبح نوى جديدة تضم جواراً جديداً لها حتى انتقاء شرط الاستمرارية تماماً، وعندها تُفصل النوى التي تنامت وشكّلت غمامة جزئية. بعد ذلك يتم الانتقال إلى اختيار نواة أخرى في الغمامة المتبقية وبدء التنامي انطلاقاً منها كما يبيّن الشكل (4).

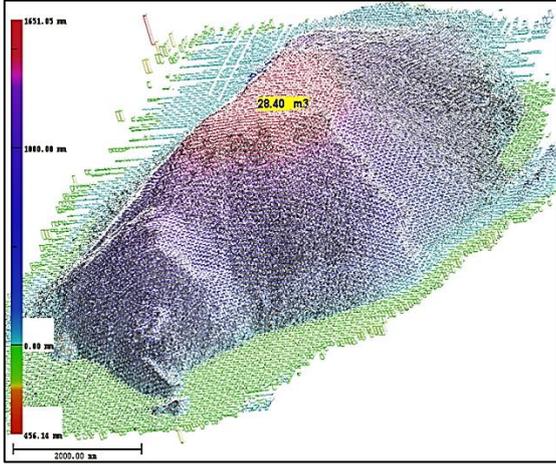
نلخص في السطور الآتية مقاربتنا الخاصة بطريقة المنطقة المتنامية بشكل كود وهمي (pseudo code).



الشكل (4): توضيح لسير عمل طريقة المنطقة المتنامية.

من المهم لإكمال الإجراء تحديد السطح الذي يغلق الكومة والذي تم تحديده كمستوى مار بالنقاط الثلاث الأخفض منسوباً لكل كومة. تُقسم غمامة الكومة إلى مواشير شاقولية مربعة القاعدة كما هو موضح بالشكل (6). من أجل بلوغ الدقة المثلى يجب أن تكون أبعاد قاعدة الموشور مساويةً للدقة التمييزية للغمامة التصويرية (التباعد الوسطي بين نقطتين متجاورتين).

يُستقرأ ارتفاع كل موشور وتُحسب حجوم هذه المواشير وتُراكم لإيجاد حجم الكومة، نجد مزيداً من التفاصيل الحسابية في (Raeva et al, 2016).



الشكل (6): حساب حجم كومة عن طريق إغلاقها وتجزئتها إلى مواشير شاقولية متجاورة.

7. الدراسة العملية:

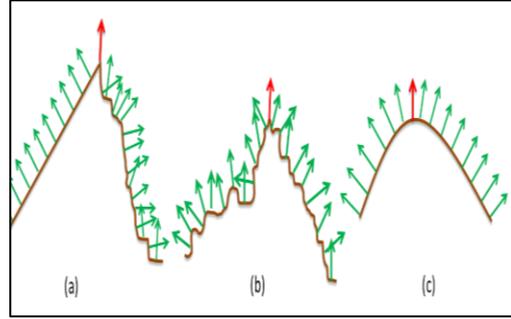
تم اختيار طلعة تصوير جوي واحدة للمسير phantom 4 djiTM في أحد المناطق المتضررة شرق مدينة دمشق بارتفاع تحليق 265 m تقريباً. يبلغ التداخل الطولي 75%، والتداخل العرضي 65%، والمسافة الوسطية بين لقطتين متتاليتين بحدود 60 m. تغطي هذه الطلعة مساحة 77 هكتاراً، وتضم أبنية سليمة ومتهدمة جزئياً ومتهدمة كلياً، بالإضافة إلى أكوام الانقراض المتهدم وأكوام ترابية نتيجة حفر خنادق. جرت المعالجة لـ 78

– اجتزاء النوى الحالية من الغمامة الأصل - {P} ←
 {P} {R}
 – إزالة النواة المبدئية من مجموعة النوى المرشحة {Sc}
 { P_{max}C } ← { S_{initial} } والعودة لـ
 الانتهاء من شرط: إذا
 الانتهاء من شرط: طالما

5. ترتيب المناطق المجتزأة {R} بحسب عدد النقاط فيها تنازلياً.

تُحدّد جميع العتبات السابقة بشكل تجريبي وبما يضمن عدد محاولات كافية لإيجاد جميع الأكوام دون الوصول لحالة التجزئة المفرطة (oversegmentation).

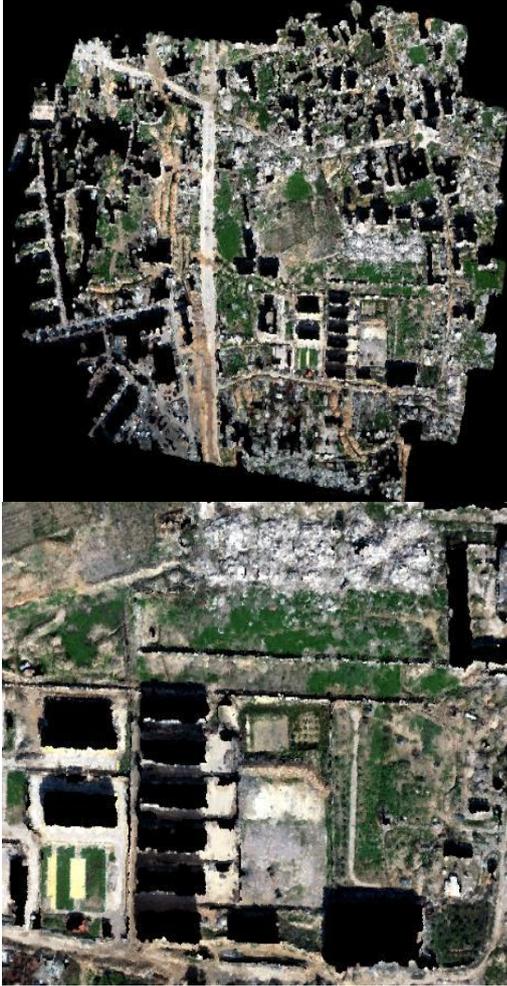
يبين الشكل (5) الحالات الثلاث الأساسية التي تسمح بنتامي المناطق في الطريقة المقترحة.



الشكل (5): حالات التنامي الثلاث التي تسمح بها الخوارزمية - النواظم باللون الأخضر ونواظم النواة المبدئية باللون الأحمر.

5.6 حساب الحجم :

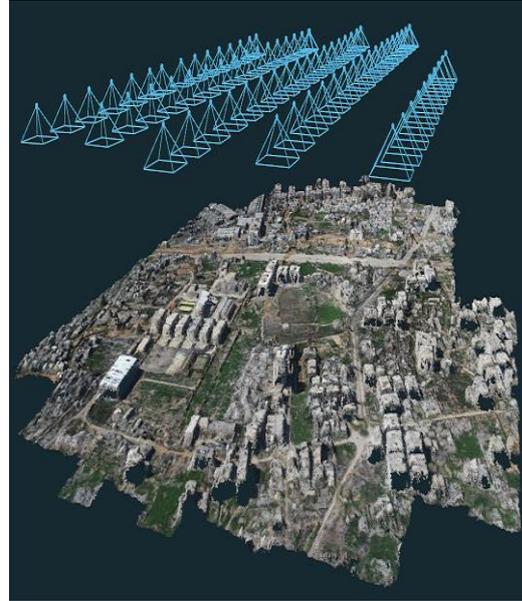
عند تقدير حجم الركام باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) يُعتمد تحويل غمامة النقاط قبل اجتزاء الأكوام وبعده إلى سطحين منفصلين، ومن ثم حساب السطح المحصور بين السطحين. إلا أن الأسلوب المقترح من خلال هذا البحث هو معالجة الأكوام المفصولة كومةً تلو الأخرى ضمن إجراء تكراري لما يدعى بحساب أكوام التخزين stockpile. تقيّد هذه التقنية بتقليل أثر أي خطأ أو انحدار في الدقة قد حدث في مرحلة استقراء السطوح.



الشكل (8): من نتائج مرحلة الفصل الآلي للأبنية والأشجار

- في المرحلة اللاحقة نطبق مقارنتنا المقترحة لطريقة المنطقة المتنامية وفق العتبات الآتية:
1. N_c العدد الأصغر من النقاط لقبول غمامة جزئية مفصولة ممثلة لكومة: 70 نقطة
 2. C_{max} درجة الانحناء لاختيار النقطة كنواة مرشحة للتنامي: $0.18 <$ (الشكل 9)
 3. N_{th} زاوية اختلاف اتجاه النواظم لاعتبار السطح خشناً $< 3^\circ$
 4. C_{th} درجة اختلاف الانحناء لاعتبار السطح خشناً < 0.05

صورة في برنامج 3Dsurvey²، وقد تمّ إيجاد 2594 نقطة مشتركة من كل صورة (في المتوسط). تمّ تكثيف النقاط المشتركة حتى الوصول لغمامة من 890,000 نقطة تحمل معلومة لونية. يبين الشكل 7 مواقع مراكز التعرض الضوئي لكل صورة وغمامة النقاط المستنتجة.



الشكل (7): مواقع الكاميرا والغمامة النقطية الناتجة

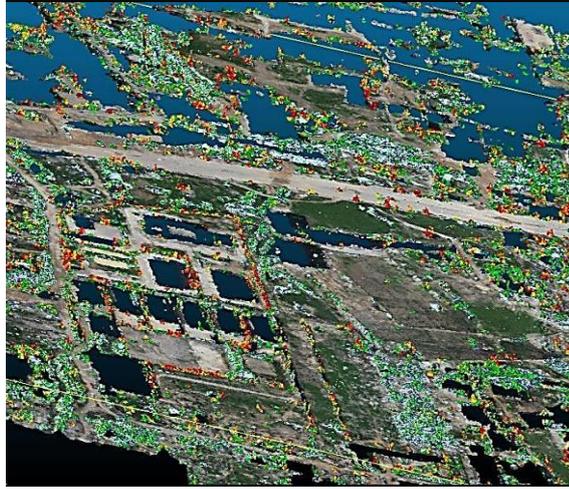
جرت الاستعانة بمخطط رفع طبوغرافي للمنطقة قبل وقوع الأضرار على الأبنية بمقياس 1:1000، وتمّ انتخاب النقاط الواقعة في زوايا الأبنية السليمة والتفاصيل غير المتضررة لتؤدي دور نقاط التحكم الأرضية في ضبط سلاسل وحزم الصور الجوية، وصلت الدقة المكانية للغمامة الناتجة إلى ± 15 cm بعد التزويد بنقاط التحكم أرضية. تستخدم الخوارزمية المقترحة (الفقرة 6.4) لفصل الأبنية والسماط الخضراء (أشجار، شجيرات، مسطحات خضراء) مرتفعة ومتوسطة الارتفاع وفق شبكة بنوية (قطعة قماشية) بدقة تمييزية تبلغ ضعف الدقة التمييزية للغمامة الأصل وبارتفاع أصغري للشجيرة 0.5 m . وقد نتجت الغمامة الجزئية الموضحة بالشكل 8

² <https://www.3dsurvey.si/>



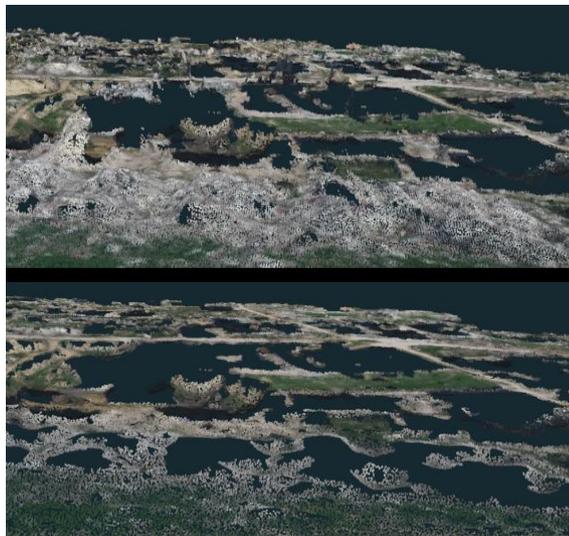
الشكل (11): من نتائج مرحلة فصل الأكوام واجتزاؤها من الغمامة الأرضية

بعد اجتزاء الأكوام من الغمامة الأرضية السابقة وفق الطريقة المقترحة ودمج الأكوام المتقاربة، نحصل على الغمامة الجزئية المبيّنة بالشكل 12 الآتي.

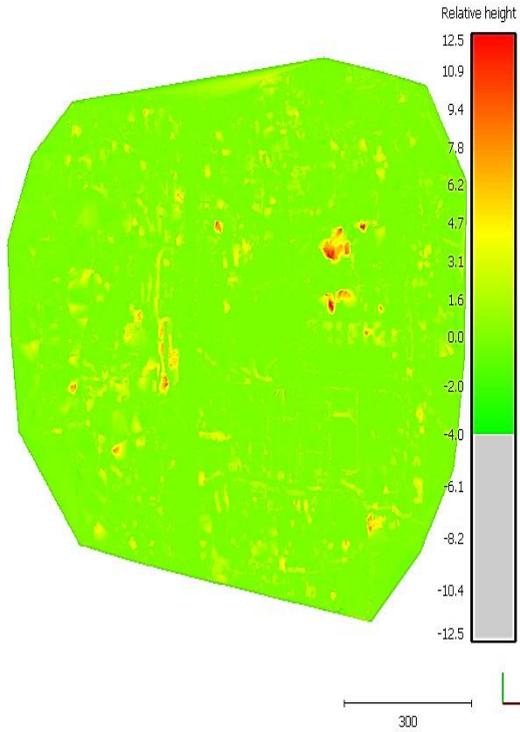


الشكل (9): الغمامة الأرضية والأكوام عليها بألوان مغايرة.

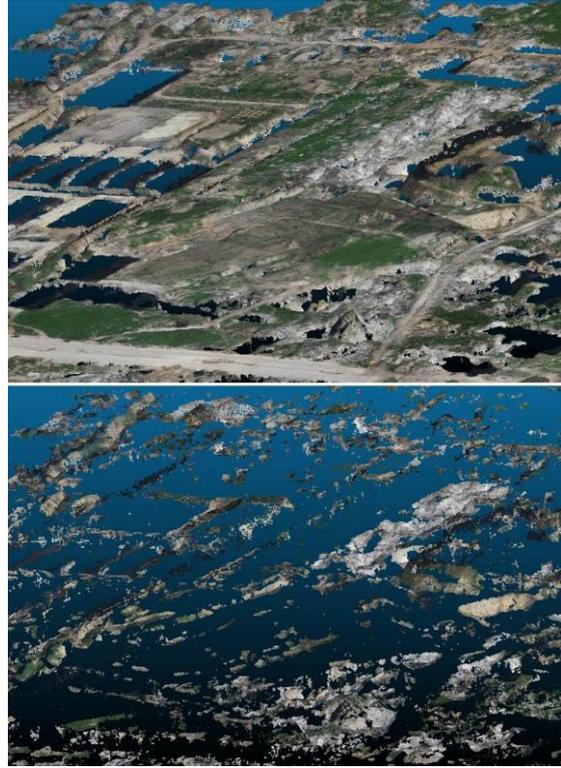
اللون الأحمر يعبر عن النوى المرشحة لبدء طريقة المنطقة المتنامية. يبيّن الشكلان (10، 11) حالتَي مقارنة للغمامة دون الأبنية والأشجار ثم الغمامة دون الأكوام.



الشكل (10): مشهد منظوري لجزء من الغمامة قبل فصل الأكوام وبعده



الشكل (13): توزيع الأكوام وارتفاعها النسبي (بالنسبة لحدود الكومة).



الشكل (12): الأكوام المفصولة وفق الخوارزمية المقترحة.

بلغ عدد الغمامات الجزئية التي تعبر عن أكوام جزئية بعد الدمج والتدقيق 267 غمامة، وكان الحجم الإجمالي للركام 93000m^3 في مساحة مدروسة من 77 هكتاراً ومدمرة بشكل شديد. يبيّن الشكل 13 توزيع الأكوام وارتفاعها النسبي بالنسبة لمتوسط ارتفاع الأرض المجاورة ممثلاً بتدرج لوني مناسب.

من الضروري حذف الضجيج وترشيح النقاط الشاذة والمنفردة لأنها تؤدي لحجوم إضافية في حساب الكميات. نقوم بحذف الضجيج في كل مرحلة من المعالجة، ومن ثمّ يتم حصر المنطقة المراد حساب الكميات فيها بشكل دقيق. بعد ترشيح النقاط المنفردة أو الملتقطة بشكل خاطئ، نقوم بإغلاق سطح كلٍّ من الأكوام المجتزأة بسطح مستو يمر بأخفض ثلاث نقاط منها من أجل حساب الحجوم المغلقة لكل منها وفق طريقة حساب حجوم الأكوام Stockpile المشار إليها.

8. النتائج والتوصيات:

نوصي بتعميم هذه التقنية ووضعها في أيدي الباحثين والمخططين والمهندسين العاملين في حصر وتقييم الأضرار على النسخ العمرانية المتضررة للمدن والبلدات. كما نوصي باستخدام تقنية الطيران المسير عند تقييم المناطق العمرانية المتضررة من خلال جولات طيران مكتملة وبارتفاع منخفض كي تكون البيانات موجهة أكثر للواجهات والهيكلي الإنشائي للأبنية (البيانات الجبهية). إن اعتماد هذه التقنيات سيسهل عمل الفرق الحقلية المختصة بمعاينة كل بناء (السلامة الإنشائية) وإدارة عملية التقييم التفصيلي وتوثيق نتائجها في قواعد بيانات مكانية مناسبة تشكل الأساس المكاني للقرار التخطيطي في التعامل مع النسخ العمرانية المتضررة والفرص الكامنة.

جرى خلال هذا البحث تجارب ومسوحات حقلية لإنتاج غمامة نقطية دقيقة وتم التحقق حقلياً من بعض الإحداثيات والمسافات بهدف مطابقة النموذج مع الواقع الحقيقي، وقد توصلنا إلى خطأ مطلق في تحديد الإحداثيات أفضل من 15 سم.

تم وضع منهجية متكاملة لحساب حجوم الأكوام بشكل مؤتمت انطلاقاً من تقنية منخفضة التكلفة وسريعة الإنجاز. جرى من خلال المنهجية الموضوعية التعرض للمشكلة الأساسية ألا وهي فصل أكوام الركاب ألياً م الغمامة المكتسبة تصويرياً بتقنية الطائرة المسيرة ليصار إلى حساب حجومها. توضع حجوم الركاب في منطقة مدمرة وذات نمط عمران متكرر بمعدل 1200 m^3 للهكتار وهو رقم يجب أخذه بعين الاعتبار عند التخطيط لمعالجة هذه الأكوام، ترحيلاً، أو تدوير الأنقاض.

لتقييم دقة فصل الأكوام تم فحص الأكوام المجترأة بصرياً بالاستعانة بالبصمة اللونية لها، وكانت نسبة صحة الالتقاط الأوتوماتيكي 97% حيث نُقِطت بعض الأسوار المنخفضة للأبنية على أنها أكوام.

تعاني الدراسة من ثغرات، أهمها عدم القدرة على تقدير الفجوات والتكهفات الداخلية ضمن الكومة وبخاصة إذا كانت لبناء منهار وسطحه الذي يغطيه يمكن معالجته بشكل يدوي. لذا نوصي بدراسات مكتملة للعمل تدخل عامل أنقاض معياري لكميات هذا النوع، كما يتوجب ربط عتبات الميل والانحناء للأكوام الترايبية بزواوية توضع الحصويات المكوّنة لها.

- 5) Raeva PL, Filipova SL, Filipov DG (2016). Volume computation of a stockpile – a study case comparing GPS and UAV measurements in an open pit quarry. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016 XXIII ISPRS Congress.
- 6) Rusu R. B., Marton Z. C., Blodow N., Dolha M., and Beetz M. Towards 3D Point Cloud Based Object Maps for Household Environments Robotics and Autonomous Systems Journal (Special Issue on Semantic Knowledge), 2008.
- 7) Zhang W, Qi J, Wan P, Wang H, Xie D, Wang X, Yan G. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. Remote Sensing. 2016; 8(6) 501.

المراجع REFERENCES

- 1) Douros I, Buxton BF, Three-dimensional surface curvature estimation using quadric surface patches. 2002.
- 2) Jagannathan, A. and Miller, E. L., 2007. Three-dimensional surface mesh segmentation using curvedness-based region growing approach. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 29(12), pp. 2195-2204.
- 3) Klasing K., Wollherr D., and Buss M., "A clustering method for online segmentation of 3d laser data," in Proc. ICRA, 2008
- 4) Rabbani, T., Van Den Heuvel, F., & Vosselmann, G., 2006. Segmentation of point clouds using smoothness constraint. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 36(5), pp. 248-253.

Received	2020/8/24	إيداع البحث
.Accepted for Publ	2012/1/27	قبول البحث للنشر