تقييم التفسير البصري لصور (Google Earth) ثلاثية الأبعاد والصور الفضائية عالية الدقة (WorldView-30cm) لجرد الانزلاقات الأرضية في منطقة كسب(سورية) عن طريق المسح الحقلي.

م. هيام الأشقر [1]، د. أحمد العمر [2]، د. شادي عبد الله[3]

(1) طالبة دكتوراه - قسم الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة حمص.

Email: Hiamalashkar2014@gmail.com

(2) أستاذ - قسم الطبوغرافية -كلية الهندسة المدنية - جامعة حمص.

Email: manager@aoceco.com

(3) مدير أبحاث - المركز الوطني للاستشعار عن بعد – المجلس الوطني للبحوث العلمية - لبنان.

Email:chadi@cnrs.edu.lb

الملخص

تصنف الانزلاقات الأرضية كواحدة من الأخطار الجيومورفولوجية التي ينتج عنها في الغالب إزاحة كتل كبيرة من الترب والصخور أو حدوث هبوطات وزحف تُلحق الأضرار بالأبنية والطرقات والمنشآت القائمة في مناطق حدوثها. ساهم تطور تقنيات الاستشعار عن بعد في دراسة وتحليل ظاهرة الانزلاقات الأرضية وغيرها من المخاطر الطبيعية، إذ شكلت صور (Google Earth) والصور الفضائية عالية الدقة مصدراً مهماً لجرد الانزلاقات الأرضية وخاصة في المناطق النائية التي يصعب الوصول إليها.

يهدف البحث إلى تقييم دقة التفسير البصري لصور (Google Earth) ثلاثية الأبعاد بالتكامل مع صور القمر الصنعي (WorldView) ذي الدقة المكانية 30سم، في جرد الانزلاقات الأرضية في منطقة كسب وذلك من خلال المسح الحقلي للانزلاقات في المنطقة. أظهرت نتائج الدراسة أن صور(Google Earth)ثلاثية الأبعاد بالتكامل مع صور(WorldView-30cm) تعتبر وسيلة

فعالة لجرد الانزلاقات الأرضية في المواقع النائية التي يصعب الوصول إليها ،حيث أمكن تفسير (85%) من انزلاقات المنطقة بصرياً ، ولم تتجاوز نسبة الخطأ في تحديد الانزلاقات (15%)، وبين المسح الحقلي أن (22%) من انزلاقات المنطقة أُغفلت خلال التفسير البصري ولم يمكن تحديدها إلا حقلياً ،وقد وقعت في المناطق المأهولة بالسكان حيث تم قطع المنحدرات لشق الطرق إضافة إلى أنشطة بشرية أخرى يمكن أن تحرض على حدوث الانزلاقات.

كلمات مفتاحية: جرد الانزلاقات الارضية، صور (Google Earth) ثلاثية الابعاد، WorldView-30cm، التفسير البصري، منطقة كسب.

Evaluation of visual interpretation of 3D Google Earth imagery and high-resolution satellite images (WorldView-30cm) for landslide inventory in Kasab area (Syria) by field survey.

Hiam Alashkar(1), Ahmad Alomar(2), Chadi Abdallah(3)

(1) Postgraduate student, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Homs University, Homs, Syria.
Email: Hiamalashkar2014@gmail.com
(2) Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Homs University, Homs, Syria.
Email: manager@aoceco.com
(3) Director of research, National Council for Scientific Research Lebanon (CNRS-L).
Email:chadi@cnrs.edu.lb

Abstract

Landslides are classified as one of the geomorphological hazards that often result in the displacement of large masses of soil and rocks or the occurrence of subsidence and creep that damage buildings, roads and existing facilities in the areas where they occur. The development of remote sensing techniques has contributed to the study and analysis of landslide phenomena and other natural hazards. In the same context, Google Earth imageries and high-resolution satellite images have been an important source for inventorying landslides, especially in remote areas that are difficult to access.

The research aims to evaluate the accuracy of visual interpretation of 3D Google Earth images, in integration with WorldView satellite images with a spatial resolution of 30 cm, in inventorying landslides in the Kasab area, the evaluation will be achieved through a field survey of landslides. The results of the study showed that 3D Google Earth images, integrated with WorldView-30cm images, are effective means of inventorying landslides in remote and difficult-to-access

locations, as 85% of landslides could be interpreted visually, and the error rate in identifying the landslides did not exceed 15%. The field survey showed that 22% of the landslides were overlooked during the visual interpretation and could only be identified from the field,and They occurred in urban areas where slopes are cut to pave roads, in addition to other human activities that can incite landslides.

Keywords: landslides inventory, 3D Google Earth imagery, WorldView 30cm, Visual interpretation, Kasab area.

1 مقدمة:

تُعتبر خريطة جرد الانزلاقات الأرضية حجر الأساس لتقييم قابلية الانزلاق، وخطره، ومخاطره [1]. ونظراً لأهمية هذه الخريطة فقد اتبع الباحثون طرقاً متعددةً لإعدادها ولكل من هذه الطرق مزاياها وسلبياتها. تعتبر طريقة رسم الخرائط الميدانية من خلال المسح الحقلي من أقدم الطرق المستخدمة لجرد الانزلاقات الأرضية، إلا أنها تتطلب وقتاً وجهداً وتكاليف كبيرة بالإضافة إلى صعوبة تمييز الانزلاقات القديمة التي اختفت معالمها لسبب أو لآخر. كما استخدمت خرائط الجرد الارشيفية من خلال مراجعة الدراسات السابقة وأرشيف الأخبار المحلية لتحديد مواقع الانزلاقات والاستفسار من الهيئات والجهات العاملة في المنطقة ومراجعة التقارير الفنية المعدة سابقاً [2،3]. ونظراً لأن الانزلاقات الأرضية غالباً ما تحدث على المنحدرات وفي المناطق ذات التضاريس المرتفعة حيث من الصعب إجراء المسح الحقلي، برزت أهمية التفسير البصري للصور الجوية والفضائية وثلاثية الأبعاد للاطلاع على المناطق النائية التي يصعب الوصول إليها بالعمل الحقلي، مع إمكانية جرد الانزلاقات الأرضية لفترات زمنية مختلفة، ولكن موثوقيته تبقى محدودة في مناطق السحب والغطاء الشجري الكثيف [4]. وحديثاً وفر الماسح الليزري LiDAR معلومات طبوغرافية عالية الدقة مما يتيح تحديداً دقيقاً للانهيارات الأرضية ولكنها طريقة مكلفة وتتطلب معالجة متخصصة [5]. كما برزت تقنية التداخل التفاضلي للرادار ذي الفتحة الصنعية DInSAR كأداة مفيدة لمراقبة وتحديد تشوهات سطح الأرض بدقات عالية، ولكنها قد تواجه صعوبة في تحديد الانهيارات الأرضية الصغيرة الحجم كما تحتاج خبرة فنية وبرمجيات متقدمة [6].

بالرغم من توفر التقنيات الحديثة والكشف الآلي عن الانزلاقات الأرضية، يظل التفسير البصري للصور ثلاثية الأبعاد أداة أساسية لا غنى عنها وخاصة في المناطق ذات التضاريس المعقدة، فضلاً عن أنها تعد معياراً أساسيا لتطوير وتقييم الأساليب الآلية. ففي كندا، استُخدمت الصور الفضائية بمختلف أنواعها وطرق التفسير الآلية وشبه الآلية وتبين أن هذه الطرق تحتوي على نسبة خطأ كبيرة وقيم متطرفة في معظم الأحيان وأن الرسم اليدوي لمضلعات الانزلاقات الأرضية من الصور الجوية الملونة وثلاثية الأبعاد أكثر دقة وسهولة [7]. وفي إيطاليا تم استخدام صور (Google Earth) لرسم مضلعات الانزلاقات الأرضية إلى جانب طرق أخرى مثل المسح الحقلي ومسح نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي والتفسير البصري من النموذج الثلاثي الأبعاد الناتج عن مسح الطائرة المسيرة والتفسير البصري لصور الأقمار الصناعية، وتبين أن التفسير البصري من الصور ثلاثية الأبعاد هو الأكثر دقة [8].

تتعرض منطقة كسب شمال غرب سورية بشكل متكرر للانزلاقات الأرضية وخاصة في فصل الشتاء، حيث بينت الدراسات السابقة أن معظم الانزلاقات تحدث على الطرق الحيوية مما يؤثر على حركة المرور والأنشطة الاقتصادية والاجتماعية. تتعدد الأسباب التي تسهم في تفاقم مخاطر الانزلاقات في كسب، فالمنطقة تتميز بتضاريس وعرة و انحدارات شديدة، كما تسجل معدلات أمطار مرتفعة [9]، مما يؤدي إلى تشبع التربة بالمياه و زيادة الضغط على الطبقات الأرضية، مما يعزز من احتمالية حدوث الانزلاقات الأرضية ، ويضاف إليه حرائق الغابات التي تتعرض لها المنطقة بشكل متكرر خلال الأعوام السابقة حيث تساهم في فقدان تماسك ترب المنحدرات[10]، ويتوقع أن زلزال العام 2023 ساهم في خلخلة المنحدرات، وأخيراً وليس آخراً النمو السكاني في المنطقة الذي أدى إلى تزايد النشاطات البشرية والتي شكلت بدورها إجهاداً للمنحدرات[11].

واتسمت الدراسات التي أجريت حتى الآن على انزلاقات منطقة كسب بأنها غير متكاملة، ووردت كجزئيات من دراسات عامة[12]أو دراسات لمواقع انزلاقات محددة مثل سد بلوران والقرعانية والحايك والجوهرة [13].

2 هدف البحث:

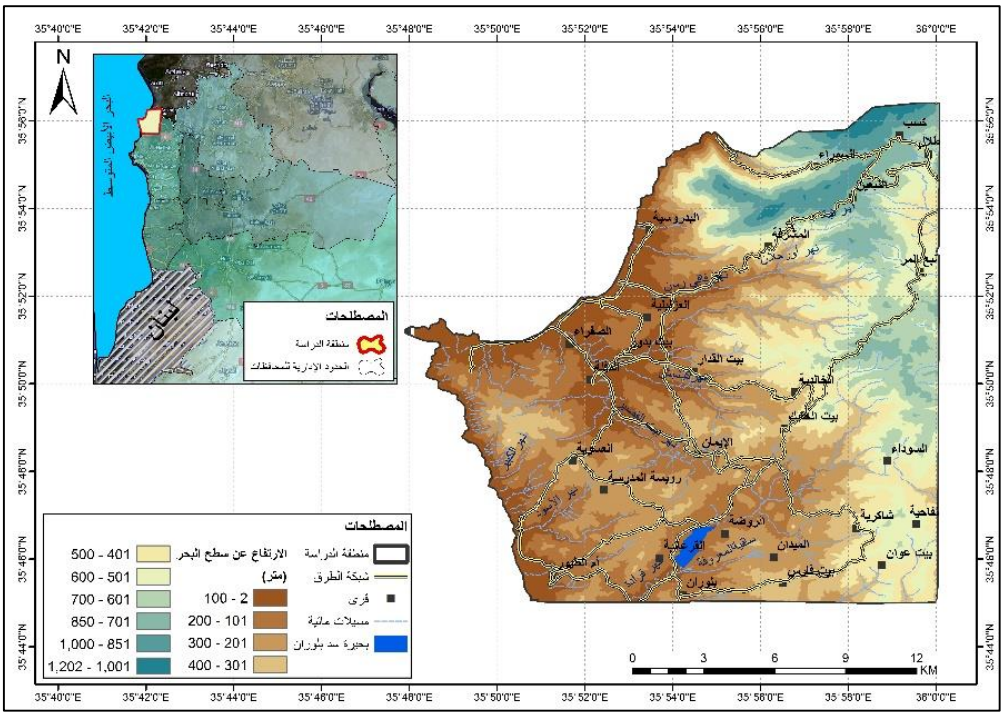
يهدف هذا البحث إلى إعداد خريطة جرد شاملة لمواقع الانزلاقات الأرضية في منطقة كسب خلال الفترة الزمنية الممتدة من عام 2010 إلى 2024. يتم ذلك باستخدام تقنيات التفسير البصري لصور ثلاثية الأبعاد مستمدة من منصة (Google Earth) وصور الأقمار الصناعية ذات الدقة العالية (WorldView-30cm). كما يتضمن البحث تقييم دقة التفسير البصري لهذه الصور في تحديد مواقع الانزلاقات الأرضية، وذلك من خلال مقارنة النتائج مع البيانات الميدانية المستمدة من المسح الحقلي ومواقع الانزلاقات المؤكدة التي تم الإشارة لها في الدراسات السابقة والأخبار المحلية. علاوة على ذلك، يسعى البحث إلى دراسة توزع الانزلاقات في المنطقة بناءً على العوامل الجيولوجية والطبوغرافية، مما يساهم في فهم أعمق للعوامل المؤثرة في حدوث هذه الظاهرة وتحديد المناطق الأكثر عرضة لها.

3 أهمية البحث:

تكتسب هذه الدراسة أهمية بالغة نظراً لكونها تتناول منطقة كسب في شمال غرب سورية، والتي تعد من أكثر المناطق عرضة للانزلاقات الأرضية في سورية. وعلى الرغم من ذلك، فإن المنطقة تفتقر حتى الآن إلى خريطة جرد شاملة لمواقع الانزلاقات الأرضية. فالدراسات السابقة اقتصرت في معظمها على رصد الانزلاقات الرئيسية على امتداد الطريق الحيوي الرابط بين كسب واللاذقية. ومن خلال هذا البحث سيتم سد هذه الفجوة المعرفية من خلال إعداد خريطة متكاملة لمواقع الانزلاقات الأرضية في منطقة كسب. وتكمن أهمية هذه الخريطة في كونها ستشكل أساسًا متيناً لدراسات مستقبلية تتناول قابلية حدوث الانزلاقات الأرضية. كما سيقوم البحث بتحليل العلاقة بين مواقع الانزلاقات والخصائص الجيولوجية والطبوغرافية للمنطقة، مما سيساهم في تحديد المناطق الأكثر عرضة لخطر الانزلاقات الأرضية. إن النتائج المتوقعة من هذا البحث ستكون ذات قيمة علمية وعملية كبيرة، إذ ستوفر قاعدة بيانات أساسية يمكن الاعتماد عليها في تطبيق النماذج الرقمية وغيرها من الأساليب العلمية الحديثة لتقييم مخاطر الانزلاقات الأرضية وإدارتها بشكل أكثر فعالية.

4 منطقة البحث:

تقع منطقة الدراسة في الزاوية الشمالية الغربية من سورية، محصورة بين خطي طول $(35^{\circ}48'4''\ E;\ 36^{\circ}00'2''E)$ وخطي عرض $(35^{\circ}45'5''\ N;\ 35^{\circ}56'19''N)$ ، تحدها الحدود التركية شمالاً، والبحر المتوسط غرباً، وبلوران جنوباً، وقرى الطلال ونبع المر والتفاحية شرقاً. تبلغ مساحة المنطقة المدروسة ($272\ km^2$). الشكل (1).

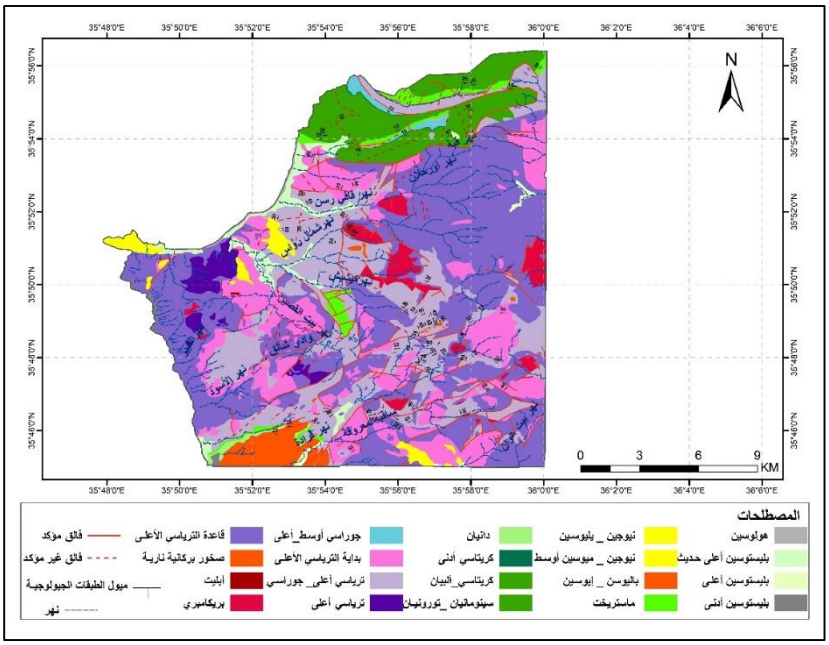


الشكل (1) الموقع العام لمنطقة الدراسة.

تتراوح ارتفاعاتها بين مستوى سطح البحر غرباً و(1200م) في جبل الأقرع شمالاً، وينخفض الارتفاع باتجاه الجنوب والغرب، تتميز المنطقة بتضاريس حادة ومجزأة بعمق، تخترقها وديان فالقيه باتجاهات مختلفة ومسيلات مائية ضيقة تأخذ شكل الحرف V باتجاه الغرب [14]. وتغطي الغابات مساحات كبيرة منها. تتمتع المنطقة بمناخ تحت مداري متوسط الرطوبة معتدل صيفا وبارد شتاء. وتتناقص درجات الحرارة شتاء إلى ما دون الصفر

مع تساقط الثلوج أحيانا، يبلغ الهطول المطري الأعظمي (1500 مم/ السنة) ويكون في الذروة خلال شهري كانون الأول وكانون الثاني إذ يمكن أن يتجاوز الهطول المطري (125 مم/الشهر) [9].

جيولوجياً، تقع المنطقة على الحافة الشمالية الغربية من الركيزة العربية وتتميز بتركيب معقد نسبياً. إذ تشغل رسوبيات المعقد الأفيوليتي باير – البسيط الجزء الأكبر منها، وتتألف من بلوكات غير منتظمة و تخلعات شديدة خاصة في الراديولاريت. كما توجد

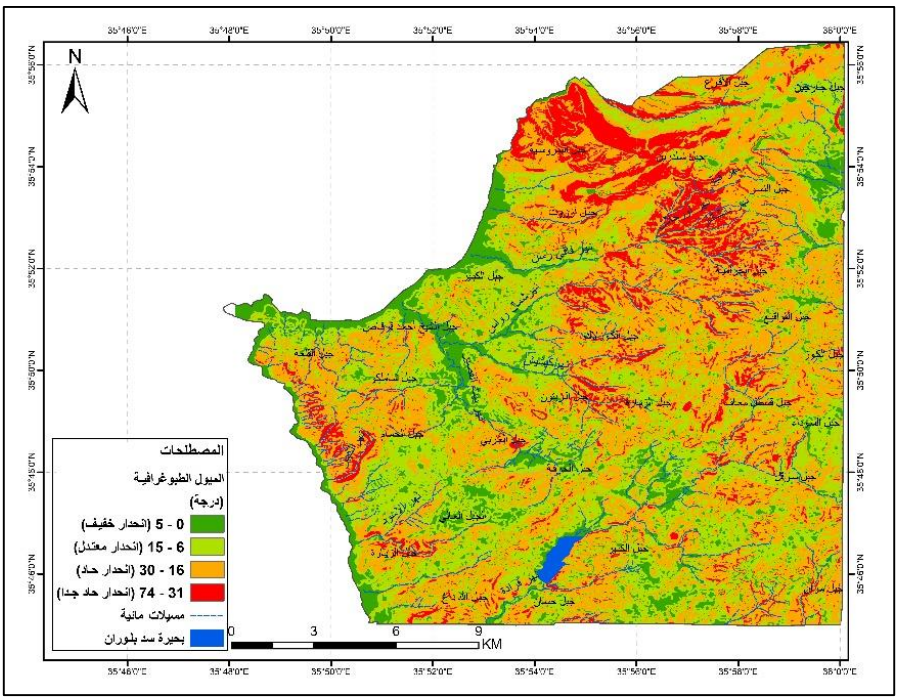


صخور رسوبية تمتد من عمر الجوراسي– كريتاسي إلى الماستريخت و البالوجين ، إضافة إلى توضعات النيوجين.تتميز المنطقة بتخلع تكتوني قوي بسبب حزم الفوالق ذات الاتجاهات شمال شرق – جنوب غرب وشرق –غرب والتي تشكل سطوح الانزلاق التي يحصل وفقها الانهيار أو الانزلاق الارضي[14] ، الشكل (2).

الشكل(2) الخريطة الجيولوجية لمنطقة اللاذقية بمقياس 1:50000 (المصدر: كازمين وكولاكوف، 1968)

تم تصنيف ميول منطقة الدراسة كما يلي [15]: انحدار خفيف: (0 – 5 درجة)، انحدار معتدل: (6 – 15 درجة)، انحدار حاد :(16–30 درجة)، انحدار حاد جداً:

(31–74 درجة). حيث تشـكل المنحدرات ذات الميول الحادة (42%) من المنطقة، بينما تشـغل المنحدرات المعتدلة (35%). أما المنحدرات الحادة جداً فتشـكل (10%) وتقتصـر على السفوح الشمالية والجنوبية لجبل سلدرين والسفوح الجنوبية لجبل النسر، الشكل (3).

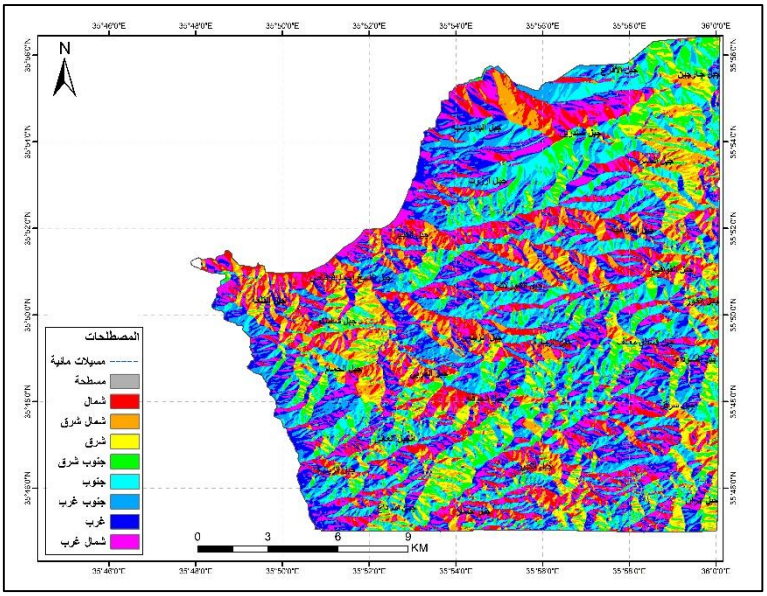


الشكل (3) خريطة الميول.

المصدر: المؤسسة العامة للمساحة العسكرية، خريطة طبوغرافية بمقياس 1:25000.

أما اتجاهات المنحدرات في منطقة الدراسة فهي متوزعة بشكل غير متساوٍ، حيث تهيمن الاتجاهات الغربية على النســبة الأكبر منها. إذ تشــكل المنحدرات المتجهة نحو الغرب والجنوب الغربي والشــمال الغربي (42%) من إجمالي المنحدرات. في حين تمثل المنحدرات ذات الاتجاه الجنوبي والجنوبي الشــرقي (30%) من مجموع المنحدرات في المنطقة. يلعب هذا التوزع في اتجاهات المنطقة دوراً مهماً في حدوث الانزلاقات خاصــة وأن اتجاهات هطول الأمطار في المنطقة غربية وشــمالية غربية، مما يزيد من احتمال

حدوث الانزلاقات الأرضـــية في المنحدرات المتوافقة مع اتجاهات الهطولات المطرية، الشكل (4).



الشكل (4) خريطة اتجاهات الميول.

المصدر: المؤسسة العامة للمساحة العسكرية، خريطة طبوغرافية بمقياس 1:25000.

5 طرق ومنهجية البحث:

5.1 البيانات المستخدمة في البحث

5.1.1 صور (Google Earth) الثلاثية الأبعاد

يُعدُّ تطبيق (Google Earth) أداة فعالة لرصد التغيرات في سطح الأرض، وذلك بفضل مجموعة من الميزات المتقدمة التي يوفرها، إذ يَعتمد التطبيق على صـــور عالية الدقة للأرض مســـتمدة من الأقمار الصـــناعية مثل Landsat وspot و terra و sentinel

وهذه الصور تُحدّث بانتظام مما يتيح تتبع التغيرات الأرضية عبر الزمن والحصول على معلومات حديثة ودقيقة عنها[16].

إحدى الميزات البارزة للتطبيق هي إمكانية استكشاف التضاريس بشكل ثلاثي الأبعاد، وهو ما يسهم بشكل كبير في اكتشاف التغيرات الطبوغرافية والتشوهات الأرضية بشكل أفضل وتعتبر هذه الميزة مفيدة جداً في دراسة الانزلاقات الأرضية [18,17]. علاوة على ذلك، يوفّر (Google Earth) مجموعة من الأدوات التحليلية المفيدة، مثل قياس المسافات والمساحات بالإضافة إلى إمكانية رسم المقاطع العرضية للمنحدرات. هذه الأدوات تمكن الباحثين من قياس التغيرات في حجم وشكل التضاريس، مما يعزز قدرتهم على تحليل وفهم الظواهر الجيومورفولوجية بشكل أعمق [19].

5.1.2 صور فضائية عالية الدقة (WorldView –30cm)

تعد صور (WorldView-30cm) من أحدث وأدق الصور الفضائية المتاحة. التُقطت هذه الصور بواسطة القمر الصناعي WorldView-3، الذي أُطلق عام 2014. تتميز بقدرتها على التقاط نطاقات طيفية متعددة، بما في ذلك النطاق البانكروماتي والنطاقات متعددة الأطياف، مع دقة تمييزية مكانية استثنائية تصل إلى 30 سم.

تكمن أهمية هذه الصور في قدرتها الفائقة على رصد التفاصيل الدقيقة للمشاهد الأرضية، مثل المباني والطرق وأنماط الغطاء الأرضي [20]. وقد برزت أهميتها بشكل خاص في دراسات الانزلاقات الأرضية لرسم حدود الانهيارات بدقة عالية، وخاصة في المناطق ذات التضاريس الشديدة الانحدار حيث تعاني الصور ذات الدقة الأقل من أخطاء تصحيح جغرافية شديدة [21]. نظرًا لقيمتها العلمية العالية وعدم توفرها مجانًا للباحثين، تم الحصول على هذه الصور لدعم هذا البحث من خلال تعاون مع المركز الوطني للاستشعار عن بعد في لبنان (CNRS).

5.1.3 الخريطة الطبوغرافية مقياس 1:25000:

تم الحصول على خريطة بمقياس ($\frac{1}{25000}$) من المؤسسة العامة للمساحة العسكرية، تغطي هذه الخريطة منطقة الدراسة بالكامل من خلال ثلاث رقع طبوغرافية: كسب1، كسب2، كسب 4. استناداً إلى هذه الخريطة تم توليد نموذج ارتفاع رقمي بدقة (12.5 م)، حُددت هذه الدقة بحسب [22] وفقا للمعادلة التالية:

$$\Delta S = \frac{A}{2\sum L}$$

حيث:

ΔS: بعد الخلية (كم).

A: مساحة منطقة الدراسة (كم^2).

∑ L: مجموع أطوال خطوط التسوية الطبوغرافية في منطقة الدراسة (كم).

$$\Delta S = \frac{272}{2 * 10700} = 12.5\, m$$

باستخدام ArcGIS تم اشتقاق خرائط الميول والاتجاهات من نموذج الارتفاع الرقمي.

5.1.4 الخريطة الجيولوجية:

تم الاعتماد على الخريطة الجيولوجية لرقعة كسب بمقياس 1:50000، والتي أعدها كازمين وكولاف في العام 1968، خضعت هذه الخريطة لعملية رقمنة باستخدام ArcGIS شملت كلاً من حدود الطبقات الجيولوجية، والفوالق المؤكدة وغير المؤكدة، معلومات ميول الطبقات الجيولوجية، والليثولوجيا. هذه العملية أتاحت تحويل المعلومات الجيولوجية القيمة إلى صيغة رقمية، مما يسهل دمجها مع البيانات الأخرى في نظم المعلومات الجغرافية وتحليلها بشكل أكثر فعالية في سياق دراسة الانزلاقات الأرضية في منطقة كسب.

5.2 منهجية البحث:

تضمنت منهجية البحث ست مراحل رئيسية وهي كالتالي: (1) التفسير البصري لصور (Google Earth) ثلاثية الأبعاد. (2) جمع البيانات والمعلومات المتعلقة بالانزلاقات الأرضية من الدراسات السابقة والأخبار المحلية، مما يساهم في بناء قاعدة بيانات شاملة. (3) إجراء المسح الحقلي للتحقق من الانزلاقات المفسرة من الصور الفضائية، مع تحديد مواقع الانزلاقات المعروفة، واكتشاف انزلاقات جديدة لم يتم رصدها سابقاً. كما يتم جمع بيانات حول الانزلاقات والغطاء الأرضي والنشاط البشري. (4) تقييم دقة التفسير البصري لصور (Google Earth) ثلاثية الأبعاد وذلك لضمان موثوقية النتائج. (5) إنشاء خريطة جرد الانزلاقات الأرضية النهائية حيث توضح مواقع الانزلاقات الارضية. (6) دراسة التوزيع المكاني للانزلاقات الأرضية من الناحية الطبوغرافية والجيولوجية مما يساعد في فهم العوامل المؤثرة على حدوث هذه الظواهر.

تسهم هذه المنهجية في تقديم رؤية شاملة حول الانزلاقات الأرضية وأسبابها، مما يعزز القدرة على تحليل مخاطرها والتقليل من آثارها السلبية.

5.2.1 التفسير البصري لصور (Google Earth)

اعتمدت المرحلة الأولى من منهجية البحث على التفسير البصري لصور (Google Earth) ثلاثية الأبعاد مع تضخيم البعد الشاقولي لتحسين وضوح التضاريس. هدفت هذه المرحلة إلى تحديد مناطق الانزلاق الأرضية خلال الفترة الزمنية الممتدة بين عامي 2010 و2024، وذلك باستخدام ثلاثة معايير تُعرف ببصمة الانزلاق (landslide signature) [23] وهي:

- التغير في الغطاء النباتي: يتميز موقع الانزلاق بفقدان الغطاء النباتي مقارنة بالمناطق المحيطة، ويمكن ملاحظة هذا التغير من خلال استعراض السلاسل الزمنية للصور المتوفرة للموقع، الشكل (A-5،B-5).
- التغير في مورفولوجيا المنطقة: يتغير ارتفاع المنحدر وميله بعد حدوث الانزلاق الأرضي، مما يمكن ملاحظته بوضوح في الصور ثلاثية الأبعاد، الشكل(C-5).

- وجود الركام والترب والصخور المنزلقة: يتمثل ذلك في تراكم المواد المنقولة أسفل منطقة الانزلاق.

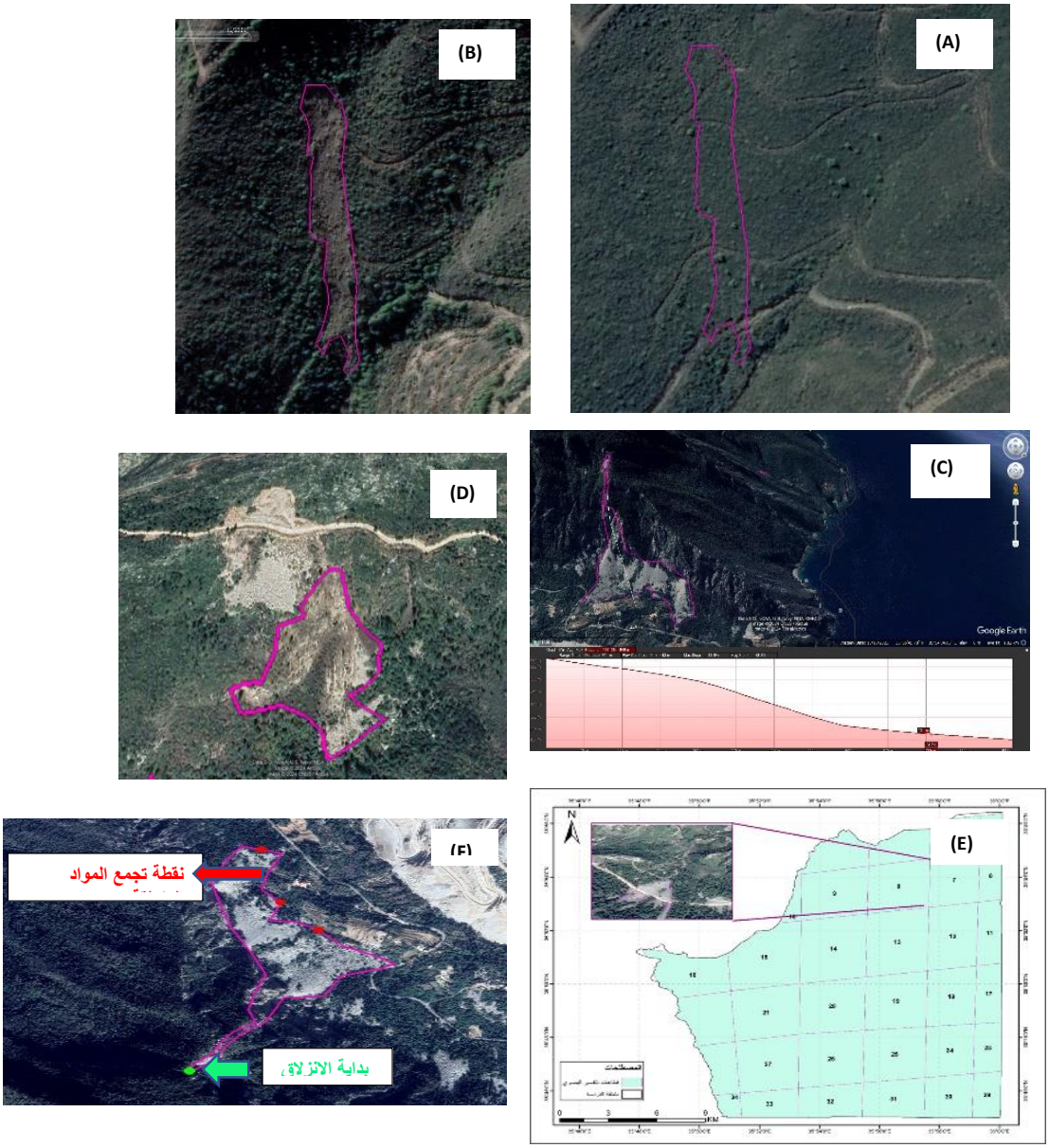
تتميز هذه الطريقة ببساطتها واعتمادها على أدوات متاحة دون الحاجة إلى برمجيات متقدمة، حيث إن صور (Google Earth) متوفرة لجميع الدول ولتواريخ متعددة، مما يتيح إمكانية جرد الانزلاقات خلال فترات زمنية مختلفة. ومع ذلك، فإن لهذه الطريقة بعض القيود، إذ قد يحدث خطأ في تفسير ظواهر طبيعية أو بشرية مثل بعض الحقول المحصودة أو المناطق التي تعرضت للفيضانات أو المقالع، أو التكشفات الصخرية باعتبارها انزلاقات أرضية. لذلك، لا بد من المسح الحقلي للتحقق من صحة التفسير، الشكل(D-5).

تم تقسيم منطقة الدراسة إلى (34) قطاعاً منتظماً بتباعد (3 كم * 3 كم) باستخدام برنامج ArcGIS الشكل(E-5)، خلال عملية الجرد التي استهدفت كل قطاع على حدة. تم تحديد مواقع الانزلاقات كنقاط فقط على خرائط (Google Earth) نظراً لعدم إمكانية رسم مضلعات دقيقة تمثل حدود الانزلاقات الأرضية من صور (Google Earth) ثلاثية الأبعاد. بعد ذلك، تم استيراد الشريحة النقطية التي تمثل مواقع الانزلاقات إلى بيئة نظم المعلومات الجغرافية من أجل البدء بالمرحلة الثانية من منهجية البحث.

5.2.2 رسم مضلعات الانزلاقات الأرضية على صور (WorldView- 30cm):

في هذه المرحلة تم استخدام ثلاث صور فضائية (WorldView-30 cm) لمنطقة الدراسة، تمثل ثلاث سنوات هي 2018، 2021، 2023.وذلك لتتبع تطور الانزلاقات الأرضية بصرياً على مدار السنوات الخمس الماضية.

تم الاعتماد على صور (WorldView-30cm) ونموذج الارتفاع الرقمي المستنتج من الخريطة الطبوغرافية (DEM12.5m) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية لرسم مضلعات تعكس الامتداد الجغرافي للانزلاقات الأرضية بدقة عالية. استفادت هذه الدراسة من الدقة العالية لصور(WorldView-30cm) لتحديد نقطة البداية لكل انزلاق أرضي، بالإضافة إلى نقطة النهاية التي تمثل تجمع المواد المنزلقة، والتي تظهر على شكل حصى او أتربة أو كتل صخرية، الشكل(F-5).



الشكل (5) A) الغطاء الأرضي قبل الانزلاق ،B) الغطاء الأرضي بعد الانزلاق ،C) موقع انزلاق على (Google Earth) والمقطع الطولي للمنحدر المنزلق D) موقع مقلع تم تفسيره بالخطأ على أنه انزلاق ، E) قطاعات التفسير البصري ، F) تحديد مضلع الانزلاق و نقطة البداية ونقطة النهاية على صورة WorldView،.

5.2.3 جرد الانزلاقات الأرضية الارشيفية:

تمت مراجعة الدراسات السابقة المتعلقة بالانزلاقات الأرضية في منطقة كسب، حيث شملت هذه المراجعة الأبحاث العلمية المنشورة [25,24] والمشاريع المنفذة من قبل جهات حكومية في سورية مثل المؤسسة العامة للطرق والمؤسسة العامة للجيولوجيا، وكذلك تم مراجعة الجرائد المحلية والمواقع الإخبارية التي تقدم معلومات يومية حول الطرق التي قُطعت بسبب الانزلاقات الأرضية، بالإضافة إلى أخبار المشاريع الحكومية لإصلاح وإعادة تأهيل المرافق المتضررة، وبخاصة الطرقات.

من خلال هذه المصادر، تم تحديد حوالي (15) موقع شهدت انزلاقات أرضية متكررة خلال العقدين الماضيين، ومن أبرز هذه المواقع: القرعانية، الجوهرة، الحايك، قسطل معاف، الإيمان، قرة فلاح، المشرفة، الشيخ حسن، النبعين، مدخل كسب[13] ، وبناء عليه تم إجراء بحث تفصيلي حول هذه المواقع باستخدام صور (Google Earth) وصور (WorldView) عالية الدقة، وكذلك من خلال مراقبة الصور التاريخية خلال الفترات التي حدثت فيها الانزلاقات. وقد أظهرت هذه المراقبة أعمال الصيانة التي تمت على الطرقات بعد وقوع الانزلاقات.

5.2.4 العمل الحقلي:

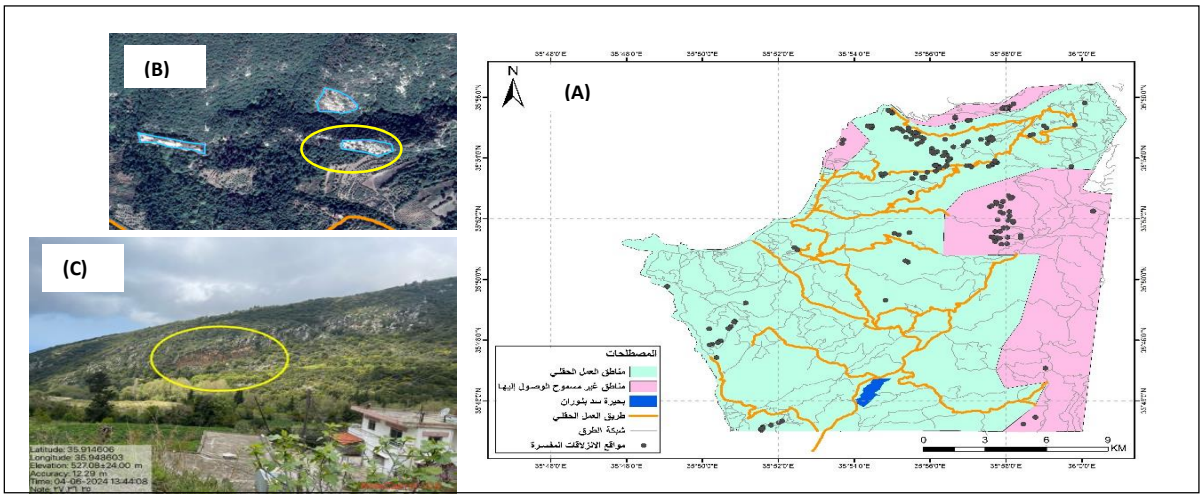
تم تنفيذ العمل الحقلي من خلال جولتين ميدانيتين خلال عام 2024، كانت الجولة الأولى في شهر نيسان واستمرت لمدة أسبوع، بينما كانت الجولة الثانية في شهر آب واستمرت ثلاثة أيام، حيث تم تخصيص كل انزلاق مفسر من الصور الفضائية برقم فريد، وذلك لتسهيل تمييزه أثناء العمل الحقلي. تم التحقق من جميع مواقع الانزلاقات المفسرة باستخدام الصور الفضائية للتأكد من صحتها، باستثناء المناطق التي كانت محظورة لأسباب أمنية.

بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء جرد لمناطق العمل الحقلي بهدف اكتشاف انزلاقات جديدة لم يتم تحديدها سابقاً عبر الصور الفضائية. استُخدم برنامج تتبع المواقع (GPS tracker) لتحديد مواقع الانزلاقات المستخلصة من صور (Google Earth) في الحقل وتحديد مسارات السير نحو مناطق الانزلاق. كما تم استخدام تطبيق كاميرا (Notecam)

على الهواتف المحمولة لتوثيق المواقع المكتشفة، حيث تم التقاط الصور مع معلومات خط الطول وخط العرض وتوقيت التقاط الصورة بالإضافة لحقل معلومات توصيفية يضيفها المساح عن الموقع، الشكل (6).

بعد ذلك، ثم تمت مراجعة السلسلة الزمنية للصور الفضائية لتفحص مواقع الانزلاقات المكتشفة وتحديد أسباب عدم إمكانية تمييزها. تم عرض الصور الملتقطة للانزلاقات ضمن واجهة برنامج (Arcmap)، وتم رسم مضلع منطقة الانزلاق بالاستعانة بصور (WorldView- 30cm).

في الخطوة التالية، تم إعداد قالب يتضمن الانزلاقات الأرضية ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، بحيث يحتوي الجدول التوصيفي للشريحة على المعلومات التالية : رقم الانزلاق الأرضي، وتاريخ حدوثه، واسم القرية، ونوع الانزلاق إذا أمكن تمييزه، والطبقة الجيولوجية التي بدأ منها الانزلاق الأرضي، وموقع الانزلاق على حافة طبقة جيولوجية، والميل الجيولوجي، والميل الطبوغرافي ، والارتفاع عن سطح البحر، ونوع التربة، ونوع الغطاء الأرضي، وحقل ملاحظات يضم أي معلومات تفصيلية تم جمعها عن الموقع سواء من العمل الحقلي أو من الدراسات السابقة أو من الأخبار.



الشكل (6) A) مناطق العمل الحقلي،B)انزلاق مفسر من (Google Earth)،C)التحقق من وجود الانزلاق بالعمل الحقلي من خلال الوصول إلى الانزلاق في حال إمكانية ذلك أو رؤيته من الجانب الآخر للمنحدر وتحديد موقعه من خلال (GPS tracker).

5.2.5 تقييم دقة التفسير البصري للانزلاقات الأرضية من الصور الفضائية:

يُعزى عدم اليقين في تقييم الانزلاقات الأرضية من الصور الفضائية إلى عدة عوامل، منها انخفاض الدقة المكانية للصور، مما يؤدي إلى عدم القدرة على تمييز الانزلاقات التي تقل عن حجم معين. كما أن تدنّي الدقة الزمانية للصور يمكن أن يُغفل بعض الانزلاقات خلال فترات زمنية محددة. بالإضافة إلى ذلك، تُشكل تعقيدات التضاريس وكثافة الغطاء الشجري عائقاً أمام عملية التفسير. علاوةً على ذلك، تلعب خبرة المفسر ومدى تحيزه دورًا في هذه العملية، فضلاً عن اكتمال عملية التحقق الحقلي وإمكانية الوصول إلى معظم المناطق [26،27].

في هذا البحث تم تقييم دقة التفسير البصري باستخدام مصفوفة الارتباك التي أُعتمدت في العديد من دراسات الانزلاقات الأرضية للحصول على عدد من المعاملات الإحصائية التي تعكس الدقة والموثوقية [28،29]، يمثل العمود في المصفوفة، عدد الانزلاقات المفسرة من العمل الحقلي بينما يمثل السطر عدد الانزلاقات المفسرة من الصور الفضائية، جدول (2).

تتضمن مصفوفة الارتباك أربع حالات رئيسية، الشكل (7):

1- True Positive (TP) (تصنيف إيجابي حقيقي): و تمثل المنطقة التي تم تصنيفها من خلال الصورة الفضائية كمنطقة انزلاق وتبين خلال العمل الحقلي أنها كذلك.

2- False Negative (FN) (تصنيف سلبي خاطئ): تشير إلى المنطقة التي اكتشفت خلال العمل الحقلي كانزلاق، ولكن لم يتم تفسيرها من الصور الفضائية.

3- False Positive (FP) (تصنيف إيجابي خاطئ): وتمثل الانزلاقات التي تم تفسيرها من الصور الفضائية ولكن تبين عند التحقق الحقلي ليست مناطق انزلاق.

4- True Negative (TN) (تصـنيف سـلبي حقيقي): يشـير إلى المنطقة التي لم يتم تصـنيفها من الصـور الفضـائية كانزلاق ، ولم يكشـف العمل الحقلي عكس ذلك.

يمثل P: العدد الإجمالي للانزلاقات الحقيقية في المنطقة سـواء من الصـور الفضـائية أو العمل الحقلي. وتمثل N: العدد الإجمالي للانزلاقات التي تم تفسـيرها بشـكل خاطئ من الصور الفضائية.

يمكن حساب المقاييس الإحصائية التالية:

- معدل الخطأ الموجب (The false positive rate) ويعبر عن نسـبة مناطق الاستقرار التي صنفت بشكل خاطئ كمناطق انزلاق يحسب من المعادلة:

$$the\ false\ negative\ rate = \frac{FP}{FP+TP} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

- معدل الخطأ السـالب (The false negative rate) وتعبر عن نسـبة مناطق الانزلاق التي صنفت بشكل خاطئ كمناطق استقرار، ويحسب من المعادلة:

$$the\ false\ negative\ rate = \frac{FN}{TP+FN} \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

تصنيف العمل الحقلي

		انزلاق	ليس انزلاق
تصنيف التفسير البصري	انزلاق	True Positive (TP)	False Positive (FP)
	ليس انزلاق	False Negative (FN)	True Negative (TN)
	المجموع	**P**	**N**

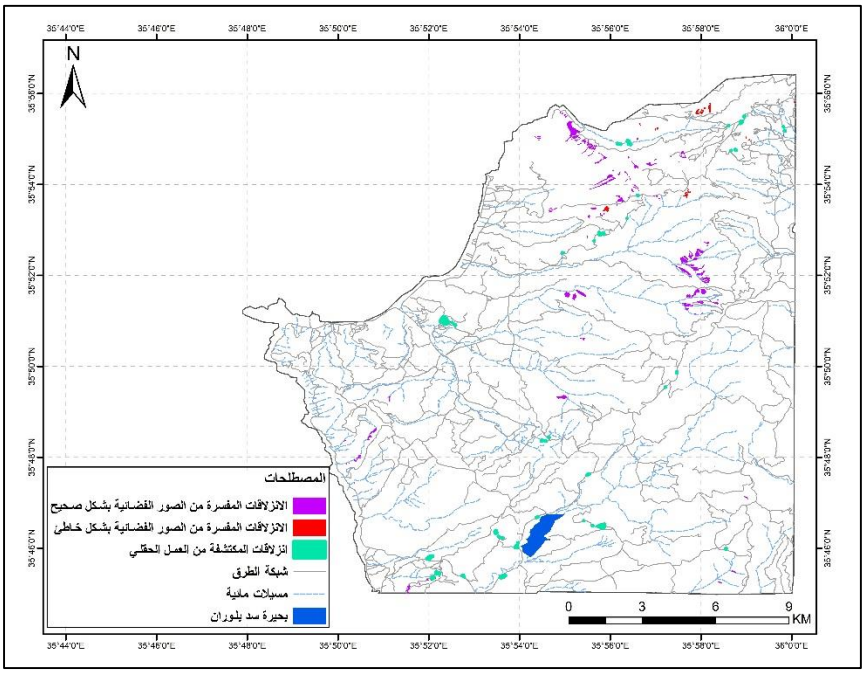
تصنيف العمل الحقلي

		انزلاق	ليس انزلاق
تصنيف التفسير البصري	انزلاق	165	29
	ليس انزلاق	46	180
	المجموع	**211**	**29**

الشكل (7) مصفوفة الارتباك.

6 النتائج والمناقشة:

تم تفسير (194) انزلاق أرضي باستخدام الصور المتعاقبة من (Google Earth) ثلاثية الأبعاد خلال الفترة الممتدة من (2010) إلى (2023). وقد تم التحقق من هذه التفسيرات من خلال العمل الحقلي حيث أظهرت النتائج أن (165) انزلاق من أصل (194) كانت تفسيرات صحيحة، مما يعني أن قيمة TP (True Positive) في مصفوفة الارتباك تساوي (165). في المقابل، تم تصنيف (29) موقعاً على أنها انزلاقات بشكل خاطئ، مما يجعل قيمة FP (False Positive) في مصفوفة الارتباك تساوي (29)، كما تم اكتشاف (46) انزلاقاً خلال العمل الحقلي لم يمكن كشفها من خلال التفسير البصري للصور الفضائية، وبالتالي فإن قيمة FN (False Negative) في مصفوفة الارتباك تساوي (46)، أما عدد مناطق الاستقرار TN (True Negative) في مصفوفة الارتباك فتم افتراضه يساوي (180) لتحقيق توازن العينة [30]، الشكلان (7،8).



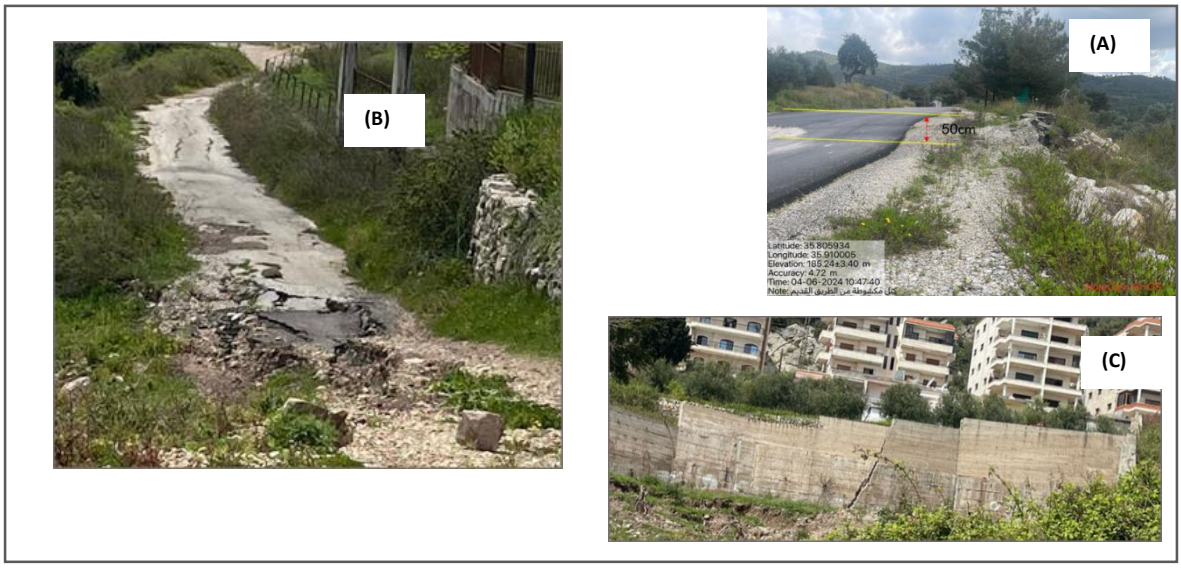
الشكل (8) مواقع الانزلاقات المفسرة من صور (Google Earth) الصحيحة والخاطئة والانزلاقات المكتشفة خلال العمل الحقلي.

أثناء العمل الحقلي، تم التأكد من صحة (84) انزلاقاً من أصل (165) انزلاقاً تم تفسيرها من الصور الفضائية. ومع ذلك، لم يكن بالإمكان الوصول إلى (81) انزلاق لأسباب متعددة، مثل المناطق المحظورة لعدم الأمان، كما هو الحال في غابات الفرنلق وقرية بيت عوان والمناطق المجاورة لها. أو لعدم وجود طرق سالكة. ولكن تم إعادة تدقيق هذه المواقع من (Google Earth) واعتبرت مواقع انزلاقات صحيحة بالمقارنة مع انزلاقات تم الوصول اليها في نفس المنطقة، وقد استند هذا التقييم إلى توصيات دراسات سابقة تشير إلى عدم ضرورة التحقق الحقلي لجميع المواقع، خاصة تلك التي يصعب الوصول إليها، مع ضرورة عدم إغفال الانزلاقات المفسرة من الصور الفضائية التي لم يمكن التحقق منها حقلياً[2] .

أما بالنسبة للانزلاقات المفسرة بشكل خاطئ والتي بلغ عددها (29)، فقد تبين أنها في معظمها تكشفات صخرية وقعت شمال منطقة الدراسة في السمرا، بالإضافة إلى كتل كلسية

فالقية وقعت في المشرفة، ومنطقة مقلع واحدة و منطقة ردميات بناء في مدينة كسب. كما أن (80%) من الانزلاقات المفسرة بشكل خاطئ وقعت ضمن الكريتاسي الأوسط (سنومانيان تورونيان).

تم اكتشاف (46) انزلاقاً خلال العمل الحقلي، لم يتم تفسيرها من خلال الصور الفضائية، حيث وقعت نسبة (50%) منها ضمن مناطق حضرية مثل قرى بلوران وبيت عوان وأم الطيور والقرعانية والحايك وقسطل معاف والمشرفة وكسب والسمرا، حيث تم قطع المنحدرات بزوايا شبه قائمة لشق الطرقات، كما هو الحال في طريق قسطل معاف. بينما جزء منها كانت عبارة عن هبوطات وزحف تم رصده في مناطق مثل القرعانية والإيمان والرويسة والمزرعة وفي مدخل كسب، كما تم رصد تساقطات حديثة للصخور في كسب– عين الدلبة وقسطل معاف والمشرفة وقد تم التأكد من السكان المحليين أنها موجودة قبل زلزال 6 شباط للعام 2023. ومعظمها لم يمكن التعرف عليها من الصور الفضائية حتى بعد تحديد موقعها في الحقل، ويعزى ذلك إلى أن الزحف و الهبوطات لا يمكن تمييزها من خلال التفسير البصري للصور الفضائية بل تحتاج إلى استخدام تقنيات أخرى مثل تقنية التداخل التفاضلي للرادار ذي الفتحة الصنعية (DInSAR) ، الشكلان (9،10).



الشكل (9) A) هبوط في الطريق من مفرق الإيمان إلى مفرق بيت القصير، يقدر مقدار الهبوط في الطريق ب 50 سم على الأقل. يتم ترميم هذا الطريق بشكل دوري سنويا B) تخريب و تكسر الطريق في كسب نتيجة الزحف،C) جدار استنادي في كسب صمم لمنع زحف الكتلة فوقه، الجدار متشقق بسبب ضغط الكتلة الزاحفة، تم تتبعه من خلال صور (Google Earth) ليتبين انه أنشئ في العام 2011 .

الشكل (10) انزلاق كبير على يسار الطريق إلى الروضة.

وبهذا يكون العدد الكلي للانزلاقات في منطقة الدراسة يساوي 211 انزلاق وهو عبارة عن مجموع الانزلاقات المفسرة من الصور الفضائية بشكل صحيح والانزلاقات المكتشفة من الحقل.

لتقييم دقة التفسير البصري من صور (Google Earth) تم تطبيق المعادلتين (1) و (2) لحساب معاملي نسبة الانزلاقات المفسرة خطأ ونسبة الانزلاقات المغفلة خلال التفسير البصري:

نسبة مناطق الانزلاق المفسرة خطأ من الصور الفضائية = $\frac{29}{29+165}$ = 15%

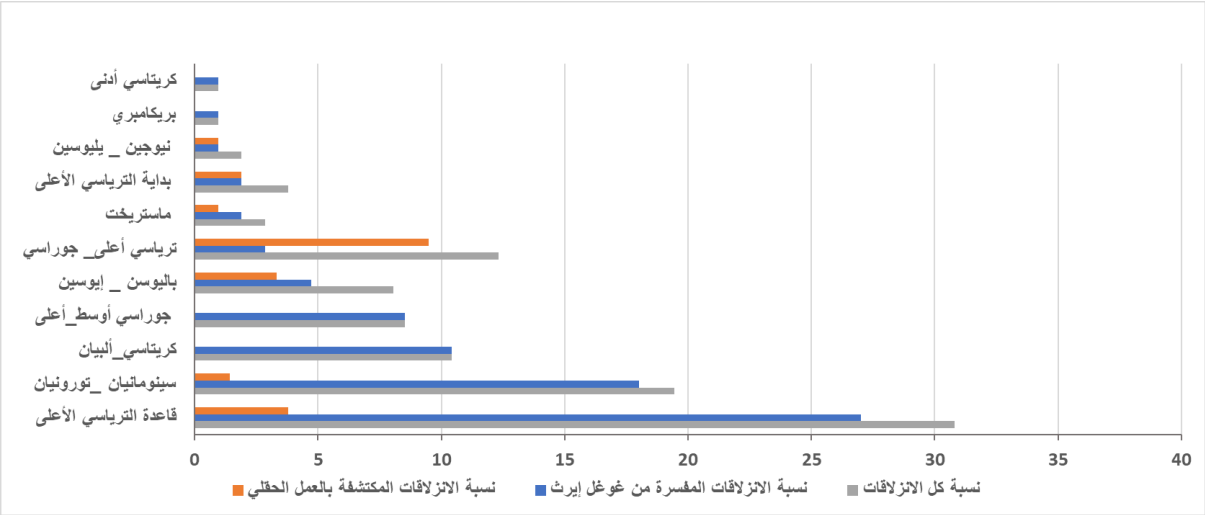
نسبة الانزلاقات المغفلة من الصور الفضائية التي لم يمكن تفسيرها إلا من العمل الحقلي = $\frac{46}{211}$ = 22%

وقد أظهرت النتائج أن دقة التفسير البصري للانزلاقات من صور (Google Earth) بلغت (85%) حيث لم تتجاوز نسبة الانزلاقات المفسرة بشكل خاطئ (15%). كما تبين أن (22%) من الانزلاقات في المنطقة لم يمكن تفسيرها إلا بالعمل الحقلي. وهذه النتيجة متقاربة مع ما توصلت إليه دراسات أخرى لتقييم دقة تفسير الانزلاقات الأرضية من الصور الفضائية، ففي شمال شرق صقيلية في إيطاليا بلغت دقة تحديد الانزلاقات الأرضية من الصور الفضائية (81.8%) [31]، وفي الهند تم استخدام الصور الفضائية المتعددة الاطياف مع مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي لتحديد مواقع الانزلاقات الأرضية و بلغت دقتها (76.4%) [32].

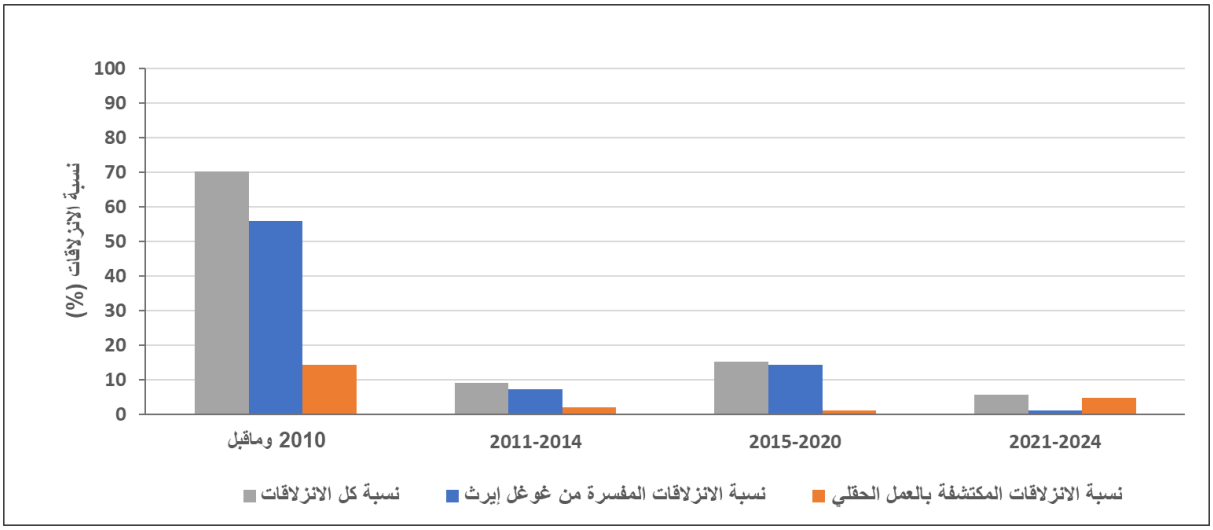
يبين الشكل (11) أن حوالي (31%) من الانزلاقات في المنطقة تنتمي إلى قاعدة الترياسي الأعلى (بيريدوتيت، سربنتين، دونيت) ، بينما تنتمي (19%) منها إلى الكريتاسي الأوسط (سينومانيان تورونيان). يمكن تفسير هذه النتائج بأن قاعدة الترياسي الأعلى تشكل أكبر طبقة جيولوجية في المنطقة إذ تغطي حوالي (36%) من المساحة المدروسة، كما أنها تعتبر صخور ضعيفة المقاومة بسبب تركيبتها المغماتية والرسوبية المسربنتة (الفاسدة) [12] ،كما أن التجوية تحول السربنتين إلى غضار مما يضعف بنية الصخر و يجعله أكثر عرضة للانزلاق[12].أما الكريتاسي الأوسط (السنومانيان تورونيان) فهو حجر كلسي دولوميتي مفكك في قسمه العلوي و صخور خضراء مفككة في قسمه

السفلي[12] مع ميول طبقات حادة تتجاوز 30درجة متوافقة مع الميول الطبوغرافية مما يعجّل من عمليتي التساقط و الزحف. كما يلاحظ أن 40% من الانزلاقات المكتشفة في الحقل وقعت ضمن التريـاسي أعلى – جوراسي وهي من المجموعة الرسوبية النارية القسم الأسفل و التي تضم تناوبات أرجيلية و راديولاريتية وكلس مسيلس، إن هذه التوضعات تتميز بأنها شديدة التكسر و التبدل نتيجة الضغوط المعاكسة من الكتل الصخرية المتوضعة فوقها وبخاصة السنومانيان تورونيان والتي يفصلها عنها تماس تكتوني يزيد من الضغوطات و يسرع عملية الانزلاق[12]، كما أن الميل العام لهذه التوضعات كبير و يصل لأكثر من 30 درجة باتجاه أسفل المنحدر.

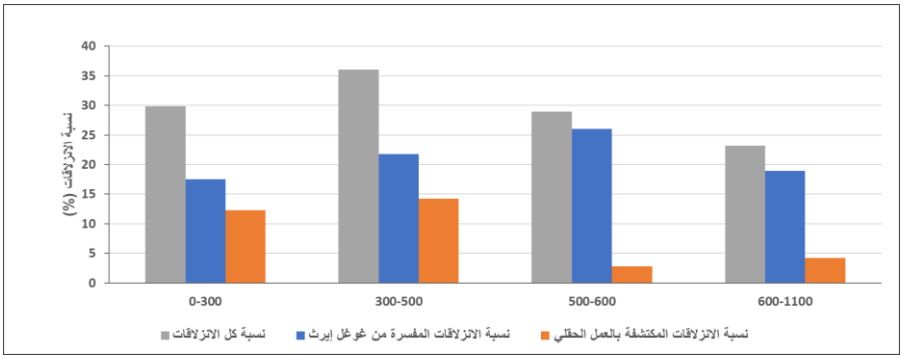
إن معظم الانزلاقات في المنطقة قديمة وتعود لتاريخ ما قبل عام 2010، أما الانزلاقات الحديثة التي حدثت خلال الفترة 2021 – 2024 فمعظمها تم اكتشافه في الحقل ولم يمكن تفسيره من (Google Earth) كونه يقع ضمن المناطق الحضرية، الشكل (12). كما وقع (85%) من الانزلاقات ضمن فئة المنحدرات ذات الميول الحادة إلى الحادة جداً (تزيد عن 30درجة) وضمن فئة الارتفاعات من (100 – 600) م بشكل أساسي، في حين وقعت معظم انزلاقات المفسرة في الحقل على منحدرات ذات ميول حادة تتراوح بين (16 – 33) درجة، وضمن فئة الارتفاعات من (100–400) م، الأشكال(13،14).



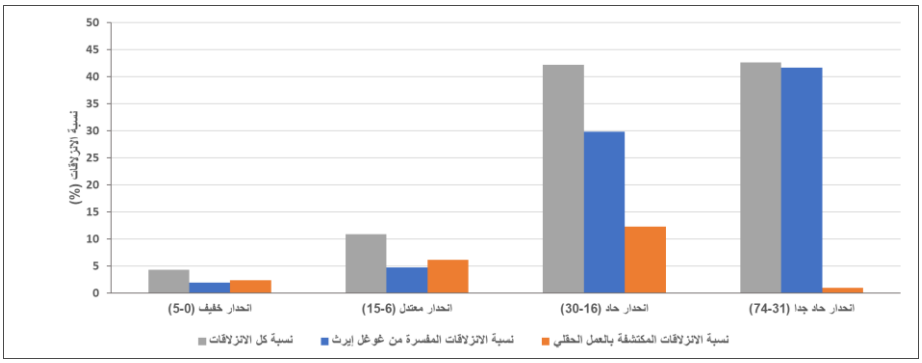
الشكل (11) نسبة الانزلاقات بحسب تواجدها ضمن الطبقة الجيولوجية التي بدأ منها الانزلاق.



الشكل (12) نسبة الانزلاقات بحسب تاريخ حدوثها.



الشكل (13) نسبة الانزلاقات بحسب الارتفاعات الطبوغرافية.



الشكل (14) نسبة الانزلاقات بحسب ميول المنحدرات.

7 الاستنتاجات:

استناداً إلى النتائج المستخلصة من هذا البحث، يمكن تلخيص الاستنتاجات الرئيسية كما يلي:

- بلغ العدد الإجمالي للانزلاقات المؤكدة في المنطقة 211 انزلاقاً، والتي تركزت بشكل رئيسي ضمن طبقات قاعدة الترياسي الأعلى والسنومانيان تورونيان.
- أظهرت النتائج أهمية التكامل بين صور (Google Earth) ثلاثية الأبعاد وصور WorldView بالإضافة إلى العمل الحقلي حيث ساهمت صور (Google Earth) ثلاثية الأبعاد في تفسير الانزلاقات في المناطق النائية التي يصعب الوصول إليها في المنطقة. مما أدى إلى تفسير حوالي (80%) من انزلاقات

كسب، مع نسبة خطأ (15%)، كما ساعد العمل الحقلي على كشف الانزلاقات المغفلة من الصور الفضائية والتي بلغت نسبتها (20%) من كامل انزلاقات المنطقة وانحصرت في المناطق المأهولة حيث توجد الطرقات التي تسمح بالوصول إليها.

- من الناحية الطبوغرافية، حدثت معظم الانزلاقات ضمن المنحدرات التي تجاوزت ميولها 30 درجة، وضمن فئة ارتفاعات تراوحت بين (100 – 600) متر.
- معظم انزلاقات المنطقة قديمة تعود إلى ما قبل العام (2010).

8 التوصيات:

يوصى باستخدام تقنية قياس التداخل التفاضلي للرادار ذو الفتحة الصنعية DInSAR في المناطق المأهولة التي لم يمكن تفسير الانزلاقات فيها باستخدام الصور الفضائية المرئية الثلاثية الأبعاد وخاصة مع ميزة ترابط موجات الرادار في هذه المناطق التي تتيح إمكانية أكبر لاكتشاف مقدار التشوه في سطح الأرض، وهذا ما سيتم العمل عليه مستقبلاً.

المراجع:

1. Bălteanu, D., Chendeş, V., Sima, M. and Enciu, P. (2010) 'A country-wide spatial assessment of landslide susceptibility in Romania', Geomorphology, 124, pp. 102–112. doi: 10.1016/j.geomorph.2010.07.011.
2. Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M. and Chang, K.T. (2012) 'Landslide inventory maps: New tools for an old problem', Earth-Science Reviews, 112(1-2), pp. 42-66.
3. Van Den Eeckhaut, M., Hervás, J. and Jaedicke, C. (2007) 'Statistical modeling of landslide susceptibility in Europe', Geophysical Research Abstracts, 9, 2441.
4. Mondini, A.C., Chang, K.T. and Guzzetti, F. (2021) 'Remote sensing for landslide inventory mapping: Methods, progress, and challenges', Earth-Science Reviews, 223, 103818.
5. Razak, K.A., Straatsma, M.W., van Westen, C.J., Malet, J.P. and de Jong, S.M. (2011) 'Airborne laser scanning of forested landslides: An analysis of the influence of vegetation density on detection and mapping', Earth Surface Processes and Landforms, 36(6), pp. 780–795.
6. Colesanti, C. and Wasowski, J. (2006) 'Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry', Engineering Geology, 88(3-4), pp. 173–199.
7. Deijns, A.A., Bevington, A.R., van Zadelhoff, F., de Jong, S.M., Geertsema, M. and McDougall, S. (2020) 'Semi-automated detection of landslide timing using harmonic modelling of satellite imagery', International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 84, p. 101943.
8. Fiorucci, F., Giordan, D., Santangelo, M., Dutto, F., Rossi, M. and Guzzetti, F. (2018) 'Criteria for the optimal selection of remote sensing optical images to map event landslides', Natural Hazards and Earth System Sciences, 18(1), pp. 405-417.
9. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021) Climate Change 2021: Interactive Atlas: Regional information on climate change for the Eastern Mediterranean. Sixth Assessment Report (AR6). Available at: https://interactive-atlas.ipcc.ch.

10. حاج موسى، فاطمة، لايقة، سرحان و علي، محمود (2011) 'دراسة تأثير الحريق في تجدد الغطاء النباتي الطبيعي في منطقة كسب'، مجلة جامعة دمشق الأساسية، 27(1).
11. Mohammed, S., Abdo, H.G., Szabo, S., Pham, Q.B., Holb, I.J., Linh, N.T.T., Anh, D.T., Alsafadi, K., Mokhtar, A., Kbibo, I. et al. (2020) 'Estimating Human Impacts on Soil Erosion Considering Different Hillslope Inclinations and Land Uses in the Coastal Region of Syria', Water, 12(10), p. 2786. doi:10.3390/w12102786.
12. Parrot, J-P.(1977) 'Assemblage ophiolitique du Baer – Bassit et termes effusifs du volcano-sédimentaire pétrologique d'un fragment de la croûte océanique téthysienne chariée sur la plateforme syrienne', O.R.S.T.O.M Paris.
13. محمد، فراس و بلال، أحمد (2016) 'دراسة جيولوجية وتحليلية للانزلاقات الأرضية في منطقة البسيط – شمال غرب سورية'، مجلة جامعة البعث،38 (2)
14. Kazmin, V.G. and Kulakov, V.V. (1968) The Geological Map of Syria, Sheet-1: I-36-XXIV-4d Scale (1:50,000), Explanatory Notes. Contracts No.(944) between the Syrian Ministry of Petroleum and the USSR Technoexport company.
15. Agriculture and Agri-Food Canada (n.d.) Slope classes (Version 3.2) Canadian Soil Information System (CanSIS). Available at: https://sis.agr.gc.ca/cansis/nsdb/slc/v3.2/cmp/slope.html
16. Google Earth (n.d.) Available at: https://www.google.com/intl/en/earth/
17. Sato, H.P., Harp, E.L.(2009) 'Interpretation of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008 M7.9 Wenchuan earthquake in the Beichuan area', Landslides, 6(2), pp.153–159.
18. Cheaib, A.(2021) Etude des glissements de terrain actifs au Liban à l'aide de la télédétection satellitaire (Doctoral dissertation). Université Grenoble Alpes.
19. Google Earth Support (n.d.) Available at: https://support.google.com/earth/?hl=en#topic=7364880
20. European Space Agency (ESA) (n.d.) WorldView-3 - Earth Online. Available at: https://earth.esa.int/eogateway/missions/worldview-3.

21. Belfiore,O.R.and Parente,C.(2015)'Orthorectification and pan-sharpening of worldview-2 satellite imagery to produce high resolution coloured ortho-photos', Modern Applied Science,9(9),p122.
22. Smith,M.P.Zhu,A.-X.Burt,J.E.& Stiles,C.(2006)'The effects of DEM resolution and neighborhood size on digital soil survey',Geoderma,137,p58-69.
23. Marchesini,I.Rossi,M.Mondini,A.C.Santangelo,M.Bucci,F.(2014)' Morphometric signatures of landslides',In:Third Open Source Geospatial Research & Education Symposium,Espoo,Finnland ,10-13 June ,pp99-105.
24. Mohammed,F.(2009)'دراسة جيولوجية للانزلاقات والانهيارات وتأثيراتها السلبية على المنشآت والتجمعات البشرية في شمال اللاذقية' أطروحة ماجستير،قسم الجيولوجيا،كلية العلوم،جامعة دمشق.
25. Shati,R.(2018) 'معالجة وتفسير معطيات النيوتكتونيك والزلزالية لبيان مدلولاتها الجيومورفولوجية والجيوهندسية في رقعة اللاذقية – سورية' رسالة دكتوراه،قسم الجيولوجيا،جامعة دمشق.
26. Steger,S.Brenning,A.Bell,R.and Glade,T.(2016)'The propagation of inventory-based positional errors into statistical landslide susceptibility models',Nat.Hazards Earth Syst.Sci.,16,p2729–2745.doi:10.5194/nhess-16-2729-2016.
27. Steger,S.Brenning,A.Bell,R.and Glade,T.(2017)'The influence of systematically incomplete shallow landslide inventories on statistical susceptibility models and suggestions for improvements',Landslides,14,p1767–1781.
28. Chen, X., Zhao. C., Xi, J. Lu, Z., Ji, S. & Chen, L.(2022) 'Deep Learning Method of Landslide Inventory Map with Imbalanced Samples in Optical Remote Sensing'. Remote Sensing, 14, p.5517. doi.org/10.3390/rs14215517.
29. Karantanellis,E.(2021)'landslide detection and characterization using OBIA methodology and UAV photogrammetry' Doctoral Thesis.
30. Yordanov,V.and Brovelli,M.A.(2020)'Comparing model performance metrics for landslide susceptibility mapping',International Archives of the Photogrammetry ,Remote Sensing and Spatial Information Sciences,43(3),pp1277–1284.

31. Lu,P.Stumpf,A.Kerle,N.Casagli,N.(2011)'Object-oriented change detection for land slide rapid mapping','IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters'8(4),pp701–705.
32. Martha, T.R. Kerle, N. Jetten, V. van Westen, C. Vinod Kumar, K.(2010) 'Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landslides for semi-automatic detection using object-oriented methods. Geomorphology' 116, p24–36.