The North African Journal of Scientific Publishing (NAJSP)
مجلة شمال إفريقيا للنشر العلمي (NAJSP)
E-ISSN: 2959-4820
Volume 4, Issue 1, 2026
Page No: 266-272
Website: https://najsp.com/index.php/home/index
SJIFactor 2024: 5.49 **0.69 :2025 (AIF) معامل التأثير العربي** **ISI 2024: 0.696**

Challenges of UAV Photogrammetry as a Tool for Aerial Mapping and Digital Elevation Models: An Applied Study of the Ghiran Area - Misrata"

Ahlam Ahmed Elsunousi[1*], Hakan Şevik[2]
[1]Architecture and Urban Planing, Faculty of Engineer, Misurata University, Misurata, Misurata, Libya
[2]Faculty of Engineering and Architecture, Environmental Engineering, Kastamonu University, Kastamonu, Turkey

تحديات المسح الجوي التصويري بواسطة الطائرة بدون طيار كأداء لرسم الخرائط الجوية ونموذج الارتفاعات الرقمية، دراسة تطبيقية لمنطقة الغيران، مصراته

أحلام أحمد السنوسي[1*]، هاكان شيفيك[2]
[1]قسم الهندسة المعمارية والتخطط العمراني، كلية الهندسة، جامعة مصراته، مصراته، ليبيا
[2]الهندسة البيئية، كلية العلوم الهندسية، جامعة كاستامونو، كاستامونو، تركيا

*Corresponding author: ahlamhaitham@gmail.com

Received: January 04, 2026	Accepted: February 06, 2026	Published: February 16, 2026

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract:
Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry has emerged as one of the most significant and modern methodologies for large-scale geographical mapping and high-precision Digital Elevation Model (DEM) extraction, among various other engineering applications. It offers substantial economic advantages, including cost-effectiveness, significant time savings, and the reduction of field labor to a minimum. This paper highlights the technical and field challenges associated with UAV surveying in the "Ghiran" area of Misrata, a region that has lacked updated maps for over 15 years. The primary objective of this study is to diagnose the difficulties encountered during the surveying and digital processing phases. Specifically, it clarifies the reasons behind the failure of automated classification algorithms and deep learning models within Pix4D Mapper and Geographic Information Systems (GIS) to accurately differentiate between various building rooftops and ground-level features. The study's findings reveal that spectral similarity and the visual resemblance of building surfaces—often covered with dust or bitumen, to pavements and natural soil led to the generation of distorted Digital Elevation Models (DEMs). This necessitated extensive and arduous manual intervention to correct classifications and ensure spatial accuracy, thereby increasing the duration of office processing. Despite these hurdles, the research successfully extracted point clouds and DEMs with centimeter-level accuracy (< 5 cm), which is sufficient for infrastructure design. Ultimately, the study proposes robust solutions to mitigate spectral overlap in future projects, ensuring efficiency and the high-precision topographic data required for modern urban planning.

Keywords: UAV Photogrammetry, Urban Sprawl (Architectural Randomness), Digital Elevation Models (DEM), Spectral Similarity, GIS (ArcGIS Pro).

الملخص:
تعد تقنية المسح التصويري الجوي بواسطة الطائرات بدون طيار (UAV) من أهم وأحدث التقنيات في رسم الخرائط الجغرافية للمساحات الشاسعة، واستخراج نماذج الارتفاعات الرقمية بدقة عالية، فضلاً عن تطبيقاتها الهندسية المتعددة؛ وما توفره من مزايا اقتصادية متمثلة في انخفاض التكلفة، واختصار الوقت، وتقليص الجهد الميداني إلى حده الأدنى. في هذه الورقة تم توضيح التحديات التقنية والميدانية التي تواجه استخدام تقنيات الرفع المساحي بواسطة طائرات بدون طيار (UAV)في منطقة "الغيران" بمدينة مصراتة، التي تفتقر إلى الخرائط المحدثة منذ 15 سنة مضت، ويتمثل الهدف الرئيسي للدراسة في تشخيص الصعوبات التي واجهت مراحل الرفع المساحي والمعالجة الرقمية، وتوضيح أسباب عجز خوارزميات التصنيف الآلي لبرنامج (PIX4D MAPPER) والتعلم العميق في برنامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) عن التمييز بين أسطح المباني المختلفة والطرق الأرضية. أظهرت نتائج الدراسة أن تقارب الخصائص الطيفية وتشابه أسطح المباني (المغطاة بالأتربة أو القطران) مع الرصيف والأرض الطبيعية أدى إلى توليد نماذج ارتفاعات رقمية (DEM) مشوهة، مما استلزم تدخلاً يدوياً شاقاً لتصحيح التصنيفات وضبط الدقة المكانية، وهو ما تسبب في إطالة زمن المعالجة المكتبية. ورغم هذه التحديات، نجحت الدراسة في استخراج سحابة نقاط ونماذج ارتفاعات رقمية وصلت دقتها إلى قيمة بالسنتيمتر (<5 سم)، وهي دقة كافية لتصميم البنية التحتية. وخلاصة الدراسة اقترحت حلول جذرية لتفادي هذا التداخل الطيفي مستقبلاً، بما يضمن سرعة الإنجاز ودقة النتائج الطبوغرافية المطلوبة للمخططات العمرانية الحديثة.

الكلمات المفتاحية: المسح الجوي التصويري، العشوائية المعمارية، نماذج الارتفاعات الرقمية، التشابه الطيفي، نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS Pro.

مقدمة:

يعيش العالم اليوم ثورة تكنولوجية في مجال إدارة الفضاء الحضري، حيث أصبحت المدن الذكية تعتمد بشكل متزايد على البيانات الضخمة ونظم المعلومات الجغرافية لضمان تنمية مستدامة، وتعد نظم المعلومات الجغرافية حجر الزاوية في التخطيط العمراني المعاصر منذ بواكر تطويرها في سبعينيات القرن الماضي [1]؛ نظراً لقدرتها الفائقة على معالجة البيانات المكانية والوصفية، وتمثيلها بصرياً، وفحص المشكلات العمرانية المعقدة بصورة أسرع وأكثر دقة. أحدثت تقنيات الطائرات بدون طيار (UAV) ثورة في كيفية جمع البيانات المكانية، حيث أصبحت أداة لا غنى عنها في التخطيط الحضري وتطوير البنية التحتية، نظراً لقدرتها على إنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد وخرائط عالية الدقة بتكلفة منخفضة مقارنة بالوسائل التقليدية [2]. ولتحقيق هذه الدقة، اعتمدت في هذه الدراسة على تقنيات الاستشعار عن بعد منخفض الارتفاع، والتي توفر صوراً ذات دقة مكانية فائقة تصل إلى مستويات السنتيمتر. وتؤكد الدراسات الحديثة أن استخدام "الدرون" في إنتاج النماذج الرقمية للارتفاعات (DEM) والنماذج الرقمية لسطح الأرض (DTM) يمثل منهجية فعالة للغاية للمساحات الصغيرة والمتوسطة، حيث تتفوق في مرونتها ودقتها الزمانية على صور الأقمار الصناعية [3]. ومع ذلك، فإن الوصول إلى دقة طبوغرافية عالية يتطلب دمج تقنيات متقدمة مثل أجهزة الرفع المساحي التي تم استخدامها في منطقة الدراسة (RTK-GNSS)، الذي يعتمد على نقاط التحكم الأرضية مع الحفاظ على دقة عالية في الخرائط الطبوغرافية الكبيرة [4].

وفي الدولة الليبية، وتحديداً في منطقة الدراسة "الغيران" بمدينة مصراتة، تبرز حاجة ملحة لتحديث المخططات العمرانية التي تشهد توسعاً عشوائياً منذ عام 2010م، مما أدى إلى تشوه النسيج العمراني وافتقار المنطقة لبيانات مساحية دقيقة. وهنا يبرز المسح الجوي التصويري (Photogrammetry) كحل مثالي لتجاوز بطء الرفع المساحي التقليدي والعقبات الاجتماعية المرتبطة به [5]. ومع ذلك، فإن نجاح هذه المهمة يواجه تحديات تقنية مرتبطة بطبيعة التضاريس والبيئة؛ إذ تشير الأبحاث إلى أن جودة النماذج الرقمية تتأثر بشكل مباشر بتخطيط الطيران، وزوايا التصوير، ومدى تعقيد السطح.[6] إن التحدي الأبرز في منطقة الدراسة يتمثل في "التشابه الطيفي" الناجم عن الظروف المناخية الجافة وتراكم الأتربة. وقد أثبتت الدراسات التي أجريت على بيئات مشابهة (مثل الشواطئ الرملية أو المناطق الجبلية) أن الخصائص البصرية للسطح تلعب دوراً حاسماً في جودة سحابة النقاط (Point Cloud) الناتجة؛ حيث يمكن أن تؤدي الأسطح المتجانسة أو المغطاة بالرمال إلى فشل خوارزميات المطابقة، مما يستلزم دمج بيانات بديلة أو استخدام طرق تصنيف متطورة لتصحيح النماذج المشوهة [7]، [8].إن الاعتماد على تقنيات مثل الماسح الليزر الأرضي (TLS) جنباً إلى جنب مع "الدرون" ضرورياً في البيئات الوعرة أو المعقدة لتغطية فجوة البيانات الناتجة عن الظلال أو الزوايا الحادة[9]

مشكلة البحث الرئيسية:

تم تحديد مشكلة البحث في القصور التقني والميداني الذي واجهته برمجيات المعالجة الآلية وخوارزميات التعلم العميق عند التعامل مع "العشوائية المعمارية" والظروف البيئية في منطقة الغيران بمدينة مصراتة. فبالرغم من الاعتماد على تقنيات المسح التصويري (Photogrammetry) القائمة على خوارزميات مطابقة البكسلات المتشابهة في الصور المتداخلة لإنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد، إلا أن العمل الميداني والمعالجة المكتبية التي قمت بها كشفت عن عوائق تقنية حالت دون تحقيق الدقة المنشودة آلياً، وتتمثل هذه العوائق في المحاور التالية:

- **التشابه الطيفي وقصور التصنيف الآلي:** من خلال المعالجة ببرنامج، (PIX4D MAPPER) ظهرت أخطاءً جوهرية في تصنيف الغطاء الأرضي؛ نتيجة التشابه الطيفي الحاد (Spectral Similarity) بين أسطح المباني المكونة من القطران المكسو بطبقة من الأتربة وبين الطرق الترابية المجاورة. هذا التداخل البصري أدى إلى فشل

الخوارزميات في تمييز الأجسام بناءً على ملمسها أو لونها، مما تسبب في توليد نماذج ارتفاعات رقمية (DEM) مشوهة تفتقر إلى الدقة الطبوغرافية المطلوبة. وتتفق هذه النتيجة مع ما توصلت إليه دراسة (Jaud et al., 2019) حول تحديات المسح التصويري في البيئات الرملية والأسطح المتجانسة، حيث تؤدي الخصائص البصرية للرمال إلى صعوبة في استخراج سحابة النقاط (Point Cloud) بدقة [7].

- **عشوائية الأنماط المعمارية وفشل نماذج التعلم العميق:** أظهرت النتائج قصور نماذج التعلم العميق (Deep Learning)في التمييز الدقيق لحدود المباني(Building Footprints) ؛ ويُعزى ذلك إلى غياب الأنماط الهندسية الموحدة أو الارتدادات القانونية الثابتة في منطقة الغيران. إن هذه العشوائية العمرانية جعلت من عملية "الاستخلاص الآلي للمعالم (Automated Feature Extraction) "أمراً بالغ الصعوبة، مما اضطررت إلى التدخل اليدوي المكثف لإعادة رسم وتصحيح المعالم المستخرجة لضمان دقة الخرائط النهائية. ويؤكد هذا ما ذهبت إليه الأبحاث الحديثة من أن تعقيد البيئة الحضرية وتداخل المعالم يتطلب استراتيجيات معالجة خاصة تتجاوز الطرق التقليدية لضمان جودة النماذج الرقمية [2]،[5].
- **تداخل شبكة الطرق وغياب المعايير القياسية:** تم رصد تداخلاً حاداً بين الطرق المعبدة وغير المعبدة، مع غياب تام للأبعاد القياسية والاشتراطات البنائية المنظمة. هذا التداخل، المقترن بغياب أدوات السلامة والمعايير الهندسية، حال دون بناء قاعدة بيانات مكانية دقيقة لشبكة المواصلات آلياً. وتبرز هنا الحاجة إلى دمج تقنيات تكاملية لضبط الدقة المكانية، حيث تشير دراسة (Jiménez-Jiménez et al., 2021) إلى أن جودة نماذج الارتفاعات الرقمية المستمدة من "الدرون" ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمدى تنظيم السطح وتوفر معالم واضحة للمطابقة.[3]

أهداف وأهمية البحث:

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من كونها تضع دليلاً فنياً لمواجهة صعوبات المسح التصويري في البيئات المشابهة للواقع الليبي. ويمكن تلخيص الأهمية التي سعت الدراسة لتحقيقها في النقاط التالية:

- تهدف الدراسة إلى توضيح الصعوبات الجسيمة التي تواجه عمليات المسح الجوي بواسطة "الدرون" في البيئات العمرانية العشوائية؛ حيث تبين من خلال أعمال الرفع والمعالجة أن تشابه مواد البناء والتشطيبات النهائية في المباني الليبية يخلق تداخلاً طيفياً يعيق خوارزميات الاستخلاص الآلي. ومن ثم، تسعى الدراسة إلى وضع توصيات لسن قوانين بنائية واشتراطات فنية تضمن سهولة الرفع والتوثيق المساحي مستقبلاً، مع مراعاة التباين في الأشكال التصميمية وتوحيد الخصائص المادية للأسطح.
- تسعى الدراسة إلى تقييم مدى موثوقية دمج تقنيات "الدرون" مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) كبديل اقتصادي وفعال للرفع المساحي التقليدي، خاصة في الدراسات الأولية للمشاريع الهندسية الكبرى. وتهدف هذه المقارنة إلى إثبات قدرة هذه التقنيات على توفير الوقت والجهد والتكلفة مع ضمان دقة مكانية عالية في التعامل مع كميات ضخمة من البيانات المكانية والوصفية متعددة المصادر.
- إنتاج مخطط عام ودقيق لمنطقة "الغيران"، يعتمد على تصنيف علمي لاستخدامات الأراضي وفقاً للنتائج المستخلصة من برمجيات المعالجة المتقدمة. ويهدف ذلك إلى توظيف تطبيقات GIS في إدارة النمو العمراني وتحديد المعالم الجغرافية بدقة سنتيمترية، مما يساهم في سد الفجوة المعلوماتية الناتجة عن تقادم المخططات المعتمدة.
- تساهم مخرجات هذه الدراسة في تزويد مصلحة التخطيط العمراني بقاعدة بيانات مكانية حديثة تسهل مهامها في مجالات متعددة، منها: تنظيم رخص البناء، إدارة شبكة الطرق والمواصلات، تقييم الأثر البيئي، وتطوير الخدمات والمرافق العامة.

منطقة الدراسة: تقع منطقة الدراسة في منطقة الغيران الواقعة في الجنوب الغربي من مدينة مصراته، ليبيا بمساحة تقدر حوالي 846 هكتار. تم اختيار هذه المنطقة لتحديث المخطط العام للمنطقة التي شهدت توسعا عشوائيا من المباني السكنية والخدمية والتجارية والتداخل بين المباني الحديثة مع الأراضي الزراعية، مما يجعلها نموذجا مثاليا لدراسة تحديات النمو العمراني العشوائي والمنظم حيث كان اخر مخطط معتمد سنة 2010م، وبسبب تداخل المناطق العمرانية بالمناطق الزراعية.

شكل رقم (1): خريطة توضح حدود مطقة الدراسة (منطقة الغيران)

المصدر: GOOGLE EARTH

منهجية الدراسة:

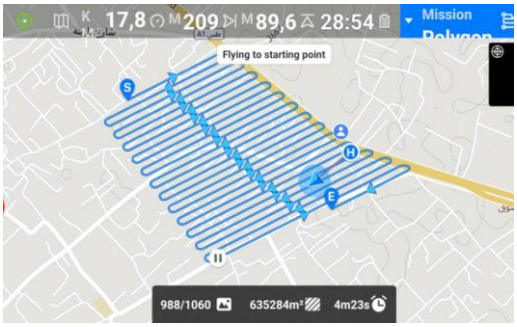
اعتمدت هذه الدراسة منهجية علمية متكاملة مقسمة إلى مرحلتين أساسيتين: تبدأ بجمع البيانات المكانية من الموقع، وتنتهي بالمعالجة الرقمية والتحليل؛ لضمان إنتاج مخرجات جغرافية ذات دقة عالية تتوافق مع المعايير المساحية الحديثة.

أولاً: مرحلة تجميع البيانات الميدانية:

تم استخدام طائرة بدون طيار(UAV) من طراز autel EVO II Pro 6K RTK V3 مع جهاز التحكم الخاص بها موضحة في الشكل (1,2)، تتميز هذه الطائرة بمستشعرات بصرية متطورة قادرة على التقاط صور بدقة 20 ميجا بكسل، مما يضمن وضوح المعالم الطبوغرافية الدقيقة. وقد تم ضبط بارامترات الطيران بدقة؛ حيث تم تحديد ارتفاع الطيران عند **100متر** فوق سطح الأرض لتغطية مساحة واسعة (846 هكتاراً) و الحصول على دقة بكسل أرضية (GSD)كافية لتمييز التفاصيل الإنشائية الصغيرة. وتتفق هذه الإعدادات مع معايير تحسين مهام الطيران لضمان دقة النماذج الرقمية [6]. ولتعزيز الإسناد الجغرافي(Georeferencing) ، تم توزيع نقاط تحكم أرضية (**GCPs**) ورصدها باستخدام أجهزة نظام تحديد المواقع العالمي الجيوديسي (**RTK-GNSS**)؛ وذلك لتقليل الخطأ المكاني وضمان مطابقة البيانات مع الإحداثيات الوطنية، وهو ما تؤكده الدراسات الحديثة كشرط أساسي لإنتاج خرائط طبوغرافية كبيرة المقياس [4]،[5].

شكل رقم (2): autel EVO II Pro 6K RTK V3

شكل رقم (3): جهاز التحكم



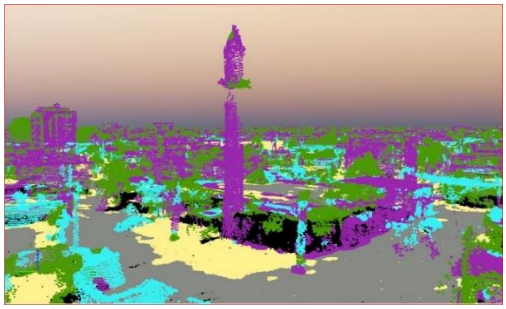
شكل رقم (4): تحديد المهمة من خلال جهاز التحكم

ثانيا: مرحلة المعالجة المكتبية:

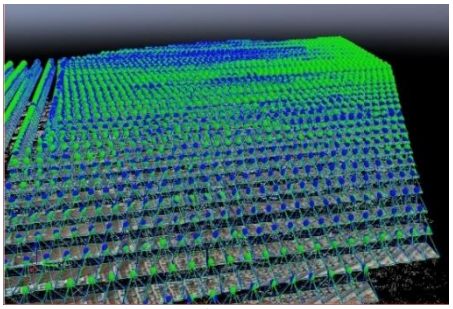
مقسمة إلى مرحلتين أساسيتين: تبدأ بجمع البيانات المكانية من الموقع، وتنتهي بالمعالجة الرقمية والتحليل؛ لضمان إنتاج مخرجات جغرافية ذات دقة عالية تتوافق مع المعايير المساحية الحديثة.

- **برنامج PIX4D MAPPER (4.5.6):**

تم استخدامه لمعالجة الصور الخام، وتوليد سحابة النقاط الكثيفة (DENCE POINT CLOUD)، وإنشاء الصور الجوية المصححة الأورثوموزايك ونموذج الارتفاعات الرقمي(DEM) . وتعتبر هذه المنهجية هي الأكثر فاعلية لإنتاج نماذج تضاريس رقمية دقيقة باستخدام الطائرات منخفضة التكلفة [3]. ركزت المعالجة في هذه المرحلة على تصنيف سحابة النقاط وفصل المعالم الأرضية عن الأجسام المرتفعة (المباني والعشوائيات)، مع مواجهة تحديات "التشابه الطيفي" التي استلزمت تدخلاً يدوياً لضمان جودة نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) وتفادي التشوهات الناتجة عن تداخل الأتربة مع الأسطح.[10]



شكل (5) POINT CLOUD توضح تباين ارتفاعات المباني

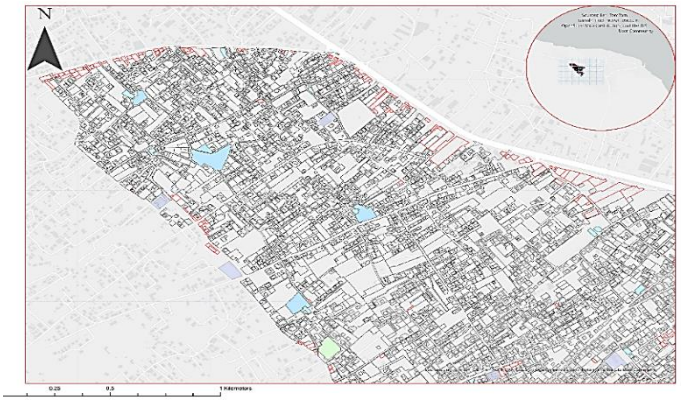


شكل (6) يوضح نداخل وربط الصور

- **برنامج ArcGIS Pro 3.1**:

تم توظيف أدوات البرنامج لإجراء التحليلات المكانية المعقدة وتصنيف استخدامات الأراضي (Land Use Classification)بناءً على مخرجات الأورثوموزايك عالية الدقة. وقد شملت هذه المرحلة العمليات التالية:

- **استخراج المناسيب والإحداثيات :**تم استخلاص مصفوفة النقاط المكانية (x, y, z) بدقة مترية (لكل متر مربع)، مما أتاحت بناء نموذج تضاريس رقمي دقيق يعكس تذبذبات الارتفاع في منطقة الغيران، وهو أمر حيوي لتحديد مسارات تصريف المياه وتخطيط البنية التحتية.
- **تصنيف المعالم وإعداد المخطط العام :**تم استخدام تقنيات التصنيف الموجه (Supervised Classification) لتمييز الكتل المبنية عن المساحات الزراعية والطرق، وصولاً إلى إعداد المخطط العام النهائي للموقع. وتؤكد الدراسات الحديثة أن التكامل بين فوتوغرامتري الدرون ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) يعد المنهجية الأكثر كفاءة في التخطيط الحضري المعاصر؛ حيث يسمح بتحويل البيانات التصويرية إلى طبقات معلوماتية ذكية تخدم اتخاذ القرار، كما تبرز أهمية استخدام ArcGIS Pro في قدرته الفائقة على معالجة الكم الهائل من البيانات المستخرجة من سحابة النقاط وتطويعها لخدمة الأغراض الهندسية والمساحية الكبيرة.



شكل رقم (7): توضح رسم جزء من المخطط العام يدويا

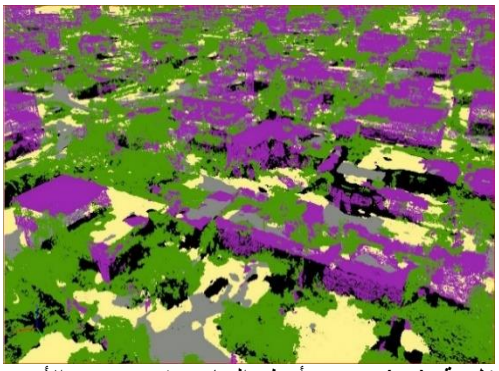
شكل رقم (8): الارثوموزايك النهائية لموقع الدراسة

نتائج وتحليل الدراسة:

أولاً: أثر التشابه الطيفي على دقة النماذج الرقمية:

من خلال الدراسة كشفت المعالجة الفيزيائية للصور عن معضلة تقنية ناتجة عن "التشابه الطيفي الحاد" بين أسطح المباني والبيئة المحيطة. فمن خلال التحليل للقيم الانعكاسية، وجد أن تراكم الأتربة فوق أسطح المباني المعزولة بـ "القطران" قد خلق ما يمكن تسميته بـ **"التوقيع الطيفي الزائف(False Spectral Signature) "**؛ حيث تماثل الخصائص البصرية للأسطح مع التوقيع الطيفي للطرق المعبدة وغير المعبدة في المنطقة. من الناحية البرمجية، عجزت خوارزميات برنامج (PIX4D MAPPER) عن تمييز "الحواف (Edges) "الفاصلة بين الكتل المبنية والمساحات الأرضية نتيجة غياب التباين اللوني .(Radiometric Contrast) أدى هذا القصور إلى توليد نموذج ارتفاعات رقمي (DEM) مشوه، ظهرت فيه المباني كبروزات مندمجة بنيوياً مع مستوى الأرض الطبيعية. إن هذا التشوه لا يقتصر على الشكل البصري فحسب، بل سيؤثر علي دقة التحليلات الهيدرولوجية المتعلقة بتصريف مياه الأمطار وحسابات مناسيب البناء، مما استلزم تدخلاً يدوياً مكثفاً لإعادة ضبط القيم الرأسية(Z-values)

شكل رقم (9): يوضح التشابه الطيفي بين أسطح المباني والارضية



شكل رقم (10): توضح أسطح المباني بنفس تصنيف الأرضية

ثانياً: تقييم خوارزميات التعلم العميق في النسيج العشوائي.

عند تطبيق نماذج التعلم العميق (Deep learning) لاستخراج حدود المباني، واجهت النماذج تحدي "غياب النمط الهندسي الموحد". فبينما نجحت هذه النماذج في المناطق المخططة التي تعتمد أبعاداً مستطيلة وارتدادات قانونية ثابتة، أظهرت منطقة الغيران عشوائية عالية في التوزيع الفراغي وتداخلاً حاداً في الأنماط المعمارية. وقد سجل ارتفاعاً ملحوظاً في "نسبة الخطأ في التصنيف" (Classification Error)، لا سيما في حالات المباني غير المكتملة (تحت الإنشاء) التي تفتقر للأسقف الخرسانية المستوية. هذه العناصر جعلت البرنامج يصنف المبنى كجزء من الأرض الطبيعية. نتيجة لذلك، عجزت نماذج التعلم العميق من القيام بالعملية، وكان لابد من القيام برسم يدوي (Manual Digitizing) شامل لجميع معالم منطقة الدراسة لضمان جودة المخطط العام

ثالثاً: المقارنة المعيارية بين الرفع الجوي والرفع التقليدي:

أظهرت النتائج مفارقة جوهرية عند المقارنة بين منهجية الرفع باستخدام طائرة بدون طيار طراز المدعومة بنظام RTKوبين طرق الرفع المساحي التقليدية (Total Station). فعلى الرغم من السرعة الفائقة في جمع البيانات الميدانية وتغطية مساحة 846 هكتاراً في زمن قياسي، إلا أن مرحلة المعالجة المكتبية في البيئات العشوائية استغرقت وقتاً إضافياً لتصحيح الأخطاء الناتجة عن تداخل المعالم. ومع ذلك، تظل منهجية الرفع الجوي التي تم اتباعها في هذه الدراسة هي الأكثر جدوى اقتصادياً وفنياً؛ نظراً لقدرتها على إنتاج "أورثوموزايك" عالي الدقة يوثق الحالة الراهنة للمنطقة بكل تفاصيلها.

التوصيات:

بناءً على التحديات التقنية التي تم رصدها وتحليلها خلال هذه الدراسة، وفي سبيل الارتقاء بجودة المخططات العمرانية في ليبيا، **نخلص إلى التوصيات التالية:**

1. **تبني التحول الرقمي في التخطيط العمراني:** ضرورة الدمج الاستراتيجي بين تقنيات المسح الجوي (UAV) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) كأداة أساسية للتخطيط المستدام. إن هذا التكامل هو السبيل الأمثل لحماية المناطق الزراعية المتبقية في مدينة مصراتة من الزحف العمراني، وضمان بناء مدن ليبية منظمة وآمنة قادرة على استيعاب النمو الديموغرافي للأجيال القادمة.
2. **تحديث المخططات الهيكلية (مخططات الجيل الثالث):** نوصي بضرورة التحديث العاجل لمخططات الجيل الثالث لمدينة مصراتة، مع التركيز بشكل خاص على المناطق التي شهدت توسعاً عشوائياً خارج النطاق المعتمد في سنة 2010م. ويجب أن يصاحب ذلك وضع سياسات تعويض عادلة وشفافة للملكيات الخاصة التي قد تتعارض مع مسارات المرافق والخدمات العامة المقترحة في المخطط الجديد.

3. **سن تشريعات ومعايير بنائية لتسهيل الاستشعار عن بعد:** لمواجهة "فشل التصنيف البرمجي" الناتج عن التشابه الطيفي، نوصي بفرض قوانين وتشريعات ملزمة ضمن تراخيص البناء، تفرض على أصحاب المباني طلاء الأسطح بمواد ذات انعكاس طيفي متميز (عكس لون التربة) وتنظيفها من مواد البناء السائبة. إن هذه الخطوة ستحسن بشكل كبير من دقة خوارزميات التعلم العميق في عمليات المسح الجوي الدوري وتخفف من عبء المعالجة اليدوية.
4. **حوكمة الأراضي وإنشاء نظام معلومات جغرافي وطني (National GIS):** الإسراع في إنشاء قاعدة بيانات جغرافية وطنية موحدة تربط مخرجات المسح الجوي ببيانات السجل العقاري ومصلحة الأملاك العامة. يهدف هذا النظام إلى ضمان حوكمة الأراضي، ومنع الاعتداءات على المخططات العامة، وتسهيل عملية إصدار الرخص الإنشائية بناءً على بيانات مكانية محدثة ولحظية.
5. **تطوير القدرات الفنية لمكاتب التخطيط:** توصي الدراسة بضرورة تدريب الكوادر الفنية في الهيئات الحكومية على استخدام برمجيات المعالجة المتقدمة (مثل Pix4D وArcGIS Pro)، لتمكينهم من التعامل مع البيانات الضخمة التي تنتجها الطائرات بدون طيار، وتوظيفها في التحليلات المكانية والهيدرولوجية الدقيقة.

قائمة المراجع:

1. Tomlinson, R. F. (1970). A Geographic Information System for Regional Planning. Journal of Geography, 69(1), 4-11.
2. Vangua, G. M., Miluța, M., & Croitoru, A. C. (2025). Use of Modern Technologies Such as UAV, Photogrammetry, 3D Modeling, and GIS for Urban Planning. Journal of Applied Engineering Sciences, 15(28), 165-174.
3. Jiménez-Jiménez, S. I., Ojeda-Bustamante, W., Marcial-Pablo, M. J., & Enciso, J. (2021). Digital Terrain Models Generated with Low-Cost UAV Photogrammetry: Methodology and Accuracy. ISPRS International Journal of Geo-Information, 10.(285)
4. Dlamini, S. M., & Ouma, Y. O. (2025). Large-Scale Topographic Mapping Using RTK-GNSS and Multispectral UAV Drone Photogrammetric Surveys: Comparative Evaluation of Experimental Results. Geomatics, 5.(25)
5. Rendra, M. I., Adivin, A., & Hadi, A. K. (2025). Integration of UAV Photogrammetry and GIS in High-Resolution Topographic Mapping of Kedungsari Village. Jurnal Teknologi dan Manajemen, 6(2), 109-124
6. Trajkovski, K. K., Grigillo, D., & Petrovič, D. (2020). Optimization of UAV Flight Missions in Steep Terrain. Remote Sensing, 12.(1293)
7. Jaud, M., et al. (2019). Diachronic UAV Photogrammetry of a Sandy Beach in Brittany (France) for a Long-Term Coastal Observatory. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8.(267)
8. Escobar Villanueva, J. R., Martínez, L. I., & Pérez Montiel, J. I. (2019). DEM Generation from Fixed-Wing UAV Imaging and LiDAR-Derived Ground Control Points for Flood Estimations. Sensors, 19.(3205)
9. Šašak, J., Gallay, M., Kaňuk, J., Hofierka, J., & Minár, J. (2019). Combined Use of Terrestrial Laser Scanning and UAV Photogrammetry in Mapping Alpine Terrain. Remote Sensing, 11.(2154)
10. Villanueva, J. R. E., et al. (2019). DEM Generation from Fixed-Wing UAV Imaging and LiDAR-Derived Ground Control Points. Sensors, 19.(3205)