

تقييم فعالية التصوير الجوي في الكشف عن النظم المائية القديمة (AI/GE أنموذجا)

"Evaluating the effectiveness of aerial photography in detecting ancient water systems: A case study of AI/GE"

جمال عناق – أستاذ التعليم العالي djamel.annak@univ-tebessa.dz	علم الآثار	جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي/ تبسة.
طبيب كريم – أستاذ محاضر-أ- tayeb.krim@univ-batna.dz	علم الآثار	جامعة الحاج لخضر /باتنة
DOI :		

الإرسال: 2025/04/05 القبول: 2025/05/19 النشر: 2025/06/19

ملخص:

تقيم هذه الدراسة فعالية دمج الذكاء الاصطناعي (AI) مع صور جوجل إيرث GE للكشف عن النظم المائية القديمة في الزاب الشرقي (بسكرة، الجزائر)، المعروفة بأنظمة ري تاريخية (قديمة و وسيطة). تم تحديد الأنماط الخطية والتغيرات الدالة على قنوات وفقارات محتملة، مما أسفر عن تحديد 05 مواقع مرشحة. أظهرت المقارنة مع سجلات تاريخية (مثل أعمال (j) Baradez و Birebent) عن تطابق تواجد هذه المواقع مع البيانات الموثقة، بينما تتطلب بعض المواقع الأخرى التحقق الميداني. أثبت النهج كفاءة عالية في المسح الأولي وتوليد الفرضيات، ولكنه يواجه تحديات من بينها دقة الصور المتفاوتة، وتأثير العوامل الطبيعية، مع صعوبة التمييز بين المعالم النظم المائية. توصي الدراسة بتكامل هذه التقنية مع الأساليب التقليدية (المسح الميداني)، (GPR) لضمان الموثوقية، مؤكدة على أهمية الخبرة البشرية في التفسير النهائي للنتائج.

كلمات مفتاحية: ذكاء اصطناعي، جوجل إيرث، نظم مائية قديمة، الزاب الشرقي، علم الآثار الرقمي.

Abstract:

to discover ancient water systems in the Ziban region (Biskra, Algeria), known for its Roman and mediaeval Islamic irrigation networks. Based on linear patterns and geomorphologic indicators of qanats and ancient canals, five possible sites were identified. A comparative analysis with historical sources, including the work of Jean Baradez(j) and Birebent, confirmed the spatial consistency, although some sites still need to be verified in the field. The approach proved effective in preliminary prospection and hypothesis generation, despite challenges such as variable image resolution and natural interference. The study argues for combining this method with conventional techniques (fieldwork, GPR) and emphasises the crucial role of archaeological expertise in interpretation.

Maghreb Journal of Historical and Social Studies - Sidi Bel-Abbes University

ISSN : 2170-0060 EISSN : 2602-523X

Volume 17 -- Issue 01 -- June 2025

البريد الإلكتروني: djamel.annak@univ-tebessa.dz

المؤلف المراسل: جمال عناق

Keywords: Artificial Intelligence, Google Earth, Ancient Water Systems, Eastern Zab, Digital Archaeology.

مقدمة:

تمثل دراسة أنظمة إدارة المياه القديمة نافذة فريدة لفهم جوانب محورية من ماضي المجتمعات البشرية، فهي لا تكشف فقط عن مستويات التطور التقني والهندسي، بل تسلط الضوء أيضاً على استراتيجيات التكيف المعقدة مع البيئات المختلفة، وديناميكيات التنظيم الاجتماعي، وأنماط استغلال الموارد، وحتى علاقات القوة والسلطة المرتبطة بالتحكم في هذا المورد الحيوي (Wilkinson, 2003; Scarborough, 2003). إن هذه الأنظمة، بتنوع أشكالها من قنوات سطحية وسدود ومدرجات، وصولاً إلى شبكات الفقارات الجوفية البارعة، هي بمثابة سجلات مادية تختزن في طبقاتها قصصاً عن صراع الإنسان وابتكاره في مواجهة تحديات الطبيعة، خاصة في المناطق التي تشكل فيها ندرة المياه عاملاً محدداً للحياة والاستقرار. ومع ذلك، فإن مهمة الكشف عن هذه البنى التحتية المائية، التي غالباً ما تكون مدفونة أو متدهورة أو ممتدة على مساحات شاسعة، وتوثيقها وتحليلها، لا تزال تمثل تحدياً منهجياً كبيراً يواجه الباحثين في علم الآثار (Casana, 2014).

في ظل هذا التحدي، شهد حقل علم الآثار في العقود الأخيرة تحولاً لافتاً نحو تبني التقنيات الرقمية المتقدمة، مدفوعاً بالتطورات الهائلة في مجالات الاستشعار عن بعد وتحليل البيانات الحاسوبية. لقد أصبحت هذه التقنيات أدوات لا غنى عنها، مكملت وموجهة للأساليب التقليدية في المسح والتنقيب. وفي طليعة هذه الأدوات، تبرز منصة جوجل إيرث (Google Earth)، التي أتاحت وصولاً غير مسبوق وسهل التكلفة لصور الأقمار الصناعية عالية الدقة نسبياً لمختلف أنحاء العالم، مما فتح آفاقاً واسعة للمسح الأولي والاستكشاف الافتراضي (Ur, 2006; Kennedy & Bishop, 2011). وبالشكل خاص خوارزميات التعلم العميق، قدرات تحليلية فائقة تمكن من معالجة الكم الهائل من الصور الرقمية والتعرف التلقائي على الأنماط الدقيقة والمعقدة التي قد تدل على وجود بقايا أثرية، بما فيها تلك المرتبطة بالنظم المائية القديمة (Lambers, 2018).

تأتي هذه الدراسة لتستكشف وتُقيّم بشكل نقدي وتطبيقي فعالية دمج هاتين التقنيتين – جوجل إيرث والذكاء الاصطناعي – كمنهجية متكاملة للكشف عن النظم المائية القديمة. تم اختيار منطقة الزاب الشرقي بولاية بسكرة، الجزائر، كدراسة حالة لهذا التقييم. ويعود هذا الاختيار إلى سببين رئيسيين: أولاً، الأهمية التاريخية والأثرية المعروفة للمنطقة في مجال إدارة المياه، حيث شهدت تعاقب حضارات تركت بصماتها في شكل شبكات ري معقدة ومتنوعة (رومانية وإسلامية وسيطة)، وهو ما وثقته جزئياً المصادر التاريخية والأثرية (Baradez, 1949; البكري, 2003; ابن خلدون, 1999. ثانياً، التحديات التي يفرضها السياق البيئي شبه القاحل للمنطقة، والحاجة الملحة لتوثيق تراثها المائي المهدد بفعل العوامل الطبيعية والبشرية. إن دراسة هذه النظم المائية القديمة في الزاب ليست مجرد تمرين تقني، بل هي محاولة لفهم أعمق لتاريخ الاستيطان، والتكيف البشري في هذه المنطقة الحيوية.. (Sutton, 1984; Berebent, 1962-1964).

يهدف هذا البحث بشكل أساسي إلى تقديم تقييم علمي لمدى فعالية وموثوقية استخدام الذكاء الاصطناعي لتحليل صور جوجل إيرث في مهمة تحديد وتوثيق بقايا النظم المائية القديمة في منطقة الزاب الشرقي. ولتحقيق هذا الهدف، ستبذل الدراسة منهجية تطبيقية تشمل جمع وتحليل صور الأقمار الصناعية باستخدام نموذج ذكاء اصطناعي تم تدريبه للتعرف على الأنماط المستهدفة (كالمعالم الخطية والتغيرات في التربة والنباتات). سيتم بعد ذلك مقارنة النتائج المكتشفة ألياً بشكل دقيق مع السجلات التاريخية والأثرية المتاحة، وبالأخص أعمال المسح الجوي لجان باراديز، لتقييم دقة النموذج وقدرته على تحديد مواقع معروفة وكشف مواقع جديدة محتملة. كما سيتم تحليل أنواع المعالم المكتشفة وتشخيص القيود والتحديات المرتبطة بالبيانات والمنهجية المتبعة. تسعى الدراسة من خلال هذا التقييم إلى المساهمة في النقاش المنهجي حول تطبيقات التكنولوجيا الرقمية في علم الآثار، وتقديم رؤى عملية حول إمكانيات وحدود هذه الأدوات في السياق الجزائري. وبناءً على ما سبق، تتبلور إشكالية الدراسة في التساؤل المحوري التالي:

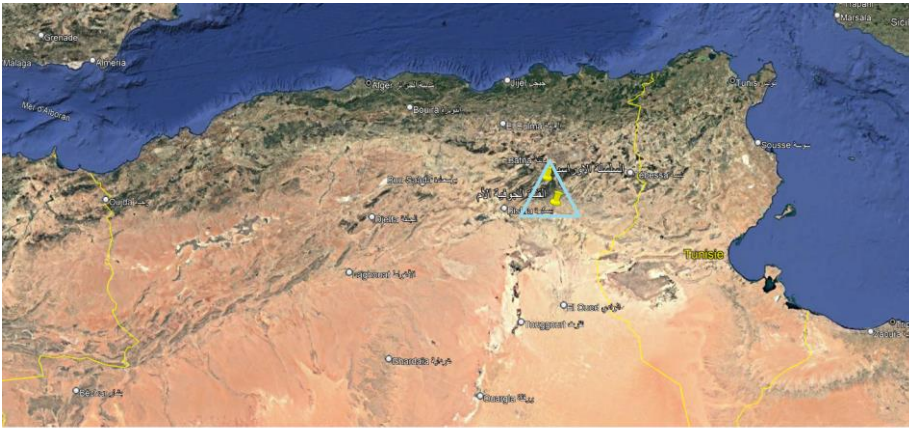
ما مدى فعالية تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي على صور جوجل إيرث في الكشف الدقيق عن بقايا النظم المائية القديمة بمنطقة الزاب الشرقي ببسكرة، وما هي

أبرز القيود التقنية والبيئية التي تحد من هذه الفعالية وتؤثر على موثوقية النتائج في هذا السياق المحدد؟.

أولا: السياق الجغرافي والأثري لمنطقة الزاب الشرقي:

لفهم أهمية البحث الحالي وتقييم نتائجه بشكل صحيح، من الضروري استعراض الإطار الجغرافي والتاريخي لمنطقة الدراسة، وتبسيط الضوء على الدور المحوري الذي لعبته النظم المائية في تشكيل ماضيها، وكذلك استعراض الجهود السابقة في الكشف عن هذه النظم.

صورة رقم(01): موقع إقليم الزاب الشرقي ببسكرة



المصدر: Google Earth

يقع إقليم الزاب الشرقي، (الصورة 01) كما أشرنا، في ولاية بسكرة، مشكلا جزءا هاما من منطقة الزيان بولاية بسكرة، التي تقع بين خطي عرض 35° و 34,30° وبين خطي طول 2° و 4° شرق غرينتش.. يمثل هذا الإقليم منطقة انتقالية فريدة جغرافيا وثقافيا، بين جبال الأوراس شمالا وشط ملغيغ جنوبا. هذا الموقع الاستراتيجي لمنطقة الزيان جعل منها ممرا حيويا للقوافل التجارية، ونقطة تماس بين التأثيرات الحضارية الشمالية (المتوسطية) والجنوبية (الصحراوية)، والأهم من ذلك، منطقة تعتمد بشكل حاسم على الإدارة الدقيقة

لمواردها المائية المحدودة لتحقيق الازدهار الزراعي والاستقرار البشري. وصفها ابن خلدون (1999)، في القرن الرابع عشر الميلادي، بأنها "وطن كبير اشتمل على قرى متعددة متجاورة"، مشيراً إلى أن بسكرة هي قاعدة وطن الزاب كمركز لهذا الإقليم الذي يضم واحات وقرى عديدة تعتمد في حياتها على مياه الأودية والمياه الجوفية (ابن خلدون، ج6، ص 423). المناخ السائد هو شبه قاحل إلى قاحل، حيث تقل الأمطار وتتسم بعدم الانتظام، مما يجعل أنظمة الري ليست مجرد إضافة، بل ضرورة حتمية للحياة والإنتاج (Despois, 1953).

تاريخياً، شهدت المنطقة تعاقب حضارات وثقافات تركت بصماتها على أنظمة إدارة المياه. خلال الفترة الرومانية، كانت المنطقة جزءاً من الخط الدفاعي (الليمس) المتقدم للإمبراطورية الرومانية في شمال إفريقيا، ولتلبية احتياجات الحاميات العسكرية ودعم الاستيطان الزراعي، أقام الرومان بنى تحتية مائية هامة، تشمل سدوداً لتحويل مياه الأودية وقنوات سطحية مبنية لنقل المياه إلى الحقول والمستوطنات. وقد وثقت أعمال ستيفان جزيل (Gzell, 1911) وجان باراديز (Baradez, Fossatum Africae 1949) العديد من هذه الآثار الرومانية، كاشفة عن مدى استثمار الإمبراطورية في السيطرة على الموارد المائية في هذه المنطقة الحدودية.

مع دخول الإسلام واستقرار القبائل العربية مع القبائل البربرية في المنطقة، استمرت أهمية الزاب كمركز زراعي وتجاري. فشهدت فترة العصور الوسطى، تطوراً ملحوظاً في تقنيات الري، ربما كان أبرزها التوسع في استخدام أو إدخال نظام الفقارات، هذا النظام الهندسي البارز الذي يعتمد على حفر أنفاق أفقية طويلة تحت الأرض لتوجيه منسوب المياه الجوفية ونقلها بالجاذبية إلى سطح الواحة، مع وجود آبار عمودية للتهوية والصيانة تظهر على السطح كعلامات مميزة، قد أحدث ثورة في استغلال المياه الجوفية وسمح بتوسع الواحات واستدامتها في وجه الظروف المناخية الصعبة (Goblot, 1979; Kobori, 1973; Remini & Kechad, 2020). (البكري، 2003، ص 255) ازدهار واحات الزاب مثل واحة تمودة، والمناطق المجاورة، مشيرين إلى دقة تنظيم توزيع المياه فيها، حيث كانت الحصص تقاس أحياناً بالزمن أو بنسب معينة، ويشرف عليها موظفون مختصون، مما يعكس الأهمية الاجتماعية والقانونية القصوى

للمياه. ولم يقتصر الأمر على الفقارات، بل استمر تطوير وصيانة السواقي السطحية التي تنقل مياه الأودية، وربما تم أيضا تطوير أنظمة لتجميع مياه السيول في خزانات وموادل، كما هو الحال في مناطق مشابهة وثقها سولونياك (Solognac, 1953. 382). إن هذا التنوع والثراء في أنظمة إدارة المياه عبر العصور يجعل من الزاب الشرقي مختبرا مثاليا لدراسة تطور التقنيات المائية وتفاعلها مع المجتمع والبيئة.

تُعدّ بقايا هذه النظم المائية القديمة – سواء كانت مسارات مطمورة لقنوات سطحية، أو صفوفاً من آبار الفقارات المنهارة، أو بقايا سدود ومدرجات – شواهد أثرية بالغة الأهمية. فهي ليست مجرد آثار مادية، بل هي سجلات تحمل معلومات قيمة عن مستويات المعرفة الهندسية، وحجم الاستثمار البشري، وأنماط التنظيم الاجتماعي، وحدود التوسع الزراعي، واستراتيجيات مواجهة التغيرات البيئية في الماضي. لذلك، فإن الكشف عن هذه البقايا وتوثيقها ودراستها يمثل أولوية لفهم تاريخ المنطقة بشكل شامل.

صورة رقم (02): تحديد مسار القناة الرومانية



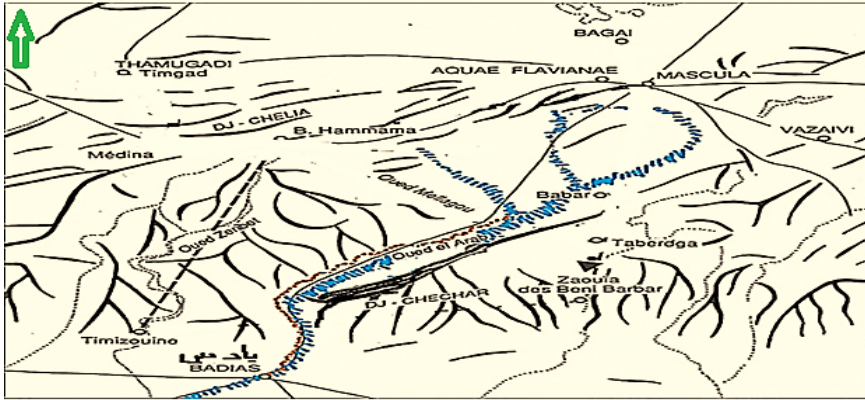
المصدر: Google Earth

قبل ظهور التقنيات الرقمية الحديثة، اعتمد الكشف عن هذه النظم بشكل كبير على المسح الميداني المباشر والتصوير الجوي التقليدي. وقد قدمت أعمال جان باراديز (Baradez, 1949. 165)، التي اعتمدت على المسح الجوي المكثف خلال منتصف القرن العشرين، مساهمة لا تقدر بثمن في هذا المجال. كشفت صوره الجوية، الملتقطة غالبا من ارتفاعات منخفضة وبزوايا مائلة، عن امتدادات واسعة لشبكات الري الرومانية،

ومسارات الفقرات المميزة بآبارها المنتظمة (انظر الصورة 02 والخريطة 01)، وأنماط الحقول القديمة التي لم تكن مرئية بوضوح من الأرض. لقد وضعت هذه الأعمال الأساس للعديد من الدراسات اللاحقة وأظهرت قوة "الرؤية من الأعلى" في دعم الدراسات الأثرية.

ومع ذلك، واجه التصوير الجوي التقليدي تحديات كبيرة، منها التكلفة العالية للطلعات الجوية، والحاجة إلى ظروف جوية وإضاءة مثالية، وصعوبة تغطية مناطق واسعة بشكل منهجي، ومحدودية الدقة في بعض الأحيان، وصعوبة اختراق الغطاء النباتي أو الرملي. هنا يأتي دور التقنيات الأحدث، مثل وسائل التصوير الفضائي والذكاء الاصطناعي، لمحاولة التغلب على بعض هذه التحديات وتقديم أدوات جديدة لاكتمال وضوح الصورة التي بدأ التقاطها الرواد الأوائل مثل جون باراديز.

خريطة رقم (01): مسار القناة الرومانية عبر ضفة وادي العرب نحو واحة بادس



المصدر: Berbent (J), Aquae Romanae

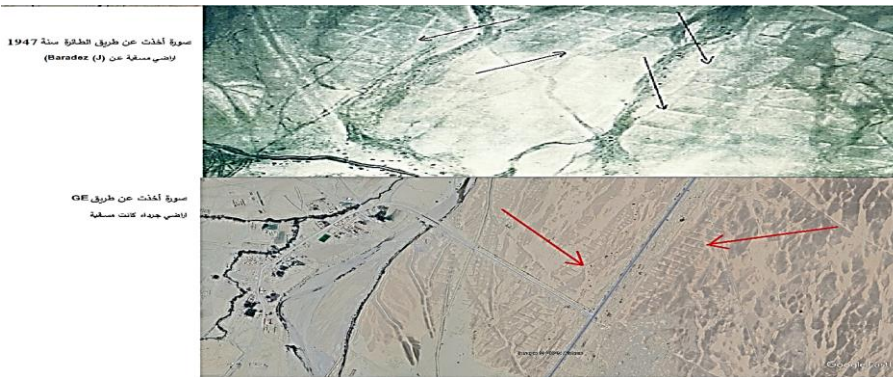
ثانياً: جوجل إيرث والذكاء الاصطناعي كأدوات للكشف الأثري:

يمثل الانتقال نحو استخدام الأدوات الرقمية المتقدمة مثل جوجل إيرث وتحليل الذكاء الاصطناعي في علم الآثار تطوراً طبيعياً ومنطقياً في سعي الباحثين عن طرق أكثر كفاءة وفعالية لاستكشاف الماضي. يوفر هذا الدمج بين منصة بيانات مكانية متاحة على

نطاق واسع وقدرات تحليلية حاسوبية متقدمة إمكانات جديدة ومثيرة للاهتمام، ولكنه يطرح أيضا تحديات منهجية ونظرية تستدعي النقاش والتقييم النقدي.

تكمّن الجاذبية الرئيسية لمنصة جوجل إيرث بالنسبة للآثارين في سهولة الوصول إلى كم هائل من صور الأقمار الصناعية التي تغطي معظم أنحاء الكرة الأرضية، بما في ذلك المناطق النائية أو التي يصعب الوصول إليها ميدانيا. هذه الصور، رغم تفاوت دقتها وجودتها، يمكن أن تكشف عن معالم أثرية سطحية أو شبه سطحية من خلال ملاحظة الأنماط الشكلية، أو التغيرات في لون التربة، أو الاختلافات في نمو الغطاء النباتي (Ur, 2006). لقد أثبتت دراسات عديدة، مثل دراسة كينيدي وبيشوب (Kennedy & Bishop, 2011) في منطقة جدة بالسعودية، كيف يمكن للمسح الدقيق لصور جوجل إيرث أن يؤدي إلى اكتشاف وتوثيق آلاف المواقع الأثرية، بما في ذلك الهياكل الحجرية والمدافن وأنظمة إدارة المياه والمدرجات الزراعية، (صورة رقم 05) في بيئات صحراوية مشابهة للزاب الشرقي. لقد حولت جوجل إيرث عملية المسح الأولي من مهمة ميدانية شاقة ومكلفة إلى نشاط يمكن إجراؤه افتراضيا من المكتب، مما أتاح للباحثين تركيز جهودهم الميدانية المحدودة على المواقع الواعدة التي تم تحديدها مسبقا. ومع ذلك، فإن الاعتماد على جوجل إيرث وحده له حدوده، كما أشار كاسانا وكوترين (Casana & Cothren, 2013)، فغياب

صورة 05: تُظهر مدرجات زراعية قديمة مرتبطة بأنظمة الري.



المصدر: Google Earth

البيانات الوصفية الدقيقة، وعدم التحكم في تواريخ التقاط الصور ومعالجتها، والافتقار إلى النطاقات الطيفية المتخصصة، كلها عوامل تحد من عمق التحليل وموثوقيته مقارنة باستخدام بيانات الأقمار الصناعية العلمية أو التجارية المتخصصة.

هنا يأتي دور الذكاء الاصطناعي، وخاصة تقنيات التعلم العميق، لسد بعض هذه الثغرات وتعزيز قدرات التحليل. فبدلاً من الاعتماد على الفحص البصري اليدوي للصور، والذي قد يكون بطيئاً وعرضة للإغفال أو عدم الاتساق، يمكن تدريب خوارزميات الذكاء الاصطناعي على التعرف التلقائي على الأنماط المرتبطة بأنواع معينة من المعالم الأثرية (Lambers, 2018). الشبكات العصبية التلافيفية (CNNs)، على سبيل المثال، مصممة خصيصاً لمعالجة البيانات الشبكية كالصور، وهي قادرة على تعلم تمثيلات هرمية للميزات البصرية، بدءاً من الحواف والزوايا البسيطة وصولاً إلى الأشكال والأنماط المعقدة (LeCun et al., 2015). عند تدريبها على مجموعة كافية من الأمثلة للمعالم المستهدفة (مثل مسارات القنوات أو آبار الفخارات)، يمكن لهذه النماذج أن تفحص صوراً جديدة وتحدد المناطق التي تحتوي على أنماط مشابهة بسرعة ودقة عالية نسبياً. في سياق دراسة النظم المائية، يمكن للذكاء الاصطناعي أن يكون مفيداً بشكل خاص في تحديد المعالم الخطية الدقيقة أو المتقطعة أو فوهات يحيطها تكس للآثرية التي قد تمثل مسارات قنوات مطمورة جزئياً، أو في التعرف على التغيرات الطفيفة في لون التربة أو كثافة النباتات التي قد تشير إلى وجود

صورة رقم (04): بقايا فوهات آبار منتظمة ومتسلسلة لفقارة ميتة



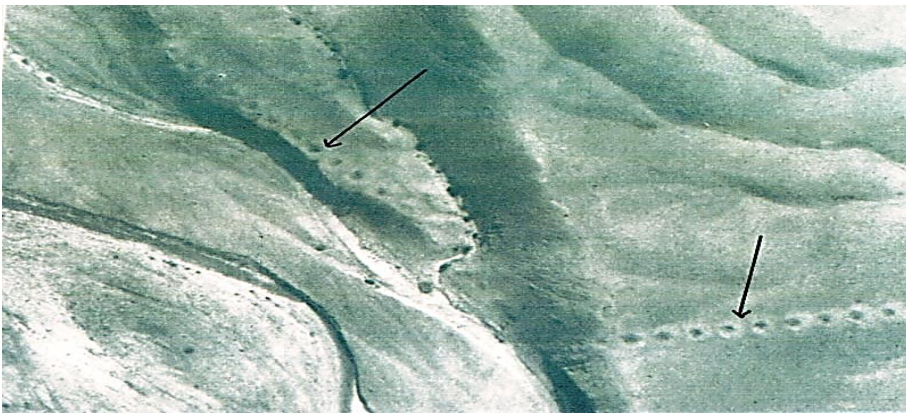
المصدر: Google Earth

رطوبة مرتبطة بتسرب المياه من قناة قديمة أو تغيير في خصائص التربة فوق بنية مدفونة (الصورة 04). (Parcak, 2009) كما يمكن استخدامه للتعرف على الأنماط المتكررة لأبار التهوية الخاصة بالفقارات، حتى لو كانت بعض الآبار غير واضحة أو مدمرة (Trier et al., 2018). ومع ذلك، فإن تطبيق الذكاء الاصطناعي في علم الآثار لا يزال في مراحله الأولى نسبياً ويواجه تحديات كبيرة ومن بينها:

أولاً، تتطلب نماذج التعلم العميق كميات كبيرة من بيانات التدريب عالية الجودة والمُعَلَّمة بدقة، وهو أمر قد لا يكون متوفراً بسهولة في العديد من المناطق الأثرية، مما يضطر الباحثين أحياناً إلى استخدام بيانات من مناطق أخرى قد لا تكون ممثلة بشكل كامل للسياق المحلي.

ثانياً، مشكلة الإيجابيات الكاذبة (False positives) تظل قائمة، حيث قد تحدد الخوارزميات معالم طبيعية أو حديثة على أنها آثار قديمة، مما يتطلب جهداً كبيراً للتحقق والتصفية اليدوية. ثالثاً، لا تزال مسألة تفسير قرارات نماذج التعلم العميق (Interpretability) تمثل تحدياً، مما يجعل من الصعب فهم سبب تحديد النموذج لموقع معين وتقييم مدى موثوقية هذا التحديد. (Huvila & Uotila, 2022)

تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف هذا التوازن الدقيق بين الإمكانيات الواعدة والتحديات القائمة. من خلال تطبيق نموذج CNN مدرب (ولو بشكل مبدئي على بيانات صورة رقم: 06) تُظهر آبار التهوية المنتظمة لفقارة ميتة قرب واحة بادس.



المصدر: Baradez. (J), Fossatum Africae

غير محلية) على صور جوجل إيرث لمنطقة الزاب الشرقي، نسعى لتقييم مدى قدرة هذا النهج على تحديد بقايا النظم المائية القديمة بشكل عملي، وتحديد أنواع الأخطاء التي يرتكبها، وفهم الظروف التي يعمل فيها بشكل أفضل أو أسوأ. إن الهدف ليس إيجاد "حل سحري" للكشف الأثري، بل تقييم أداة جديدة يمكن أن تضاف إلى مجموعة الأدوات المتاحة للآثارين، مع فهم واضح لنقاط قوتها وضعفها.

ثالثاً: منهجية الدراسة التطبيقية المرتبطة بتحليل صور قوقل إيرث:

لتحقيق الأهداف المرجوة، تم اتباع منهجية بحثية تجمع بين جمع البيانات المكانية من جوجل إيرث، وتطوير وتطبيق نموذج ذكاء اصطناعي لتحليلها وكان اختيارنا لموقع grok. Ai، ومقارنة النتائج بالمعلومات الأثرية والتاريخية المتاحة، مع التركيز على نافذة الدراسة المحددة في الزاب الشرقي.

تم أولاً فتح نافذة جغرافية عبر منصة Google earth ، بمساحة تقريبية 50 كم مربع، تشمل تضاريس متنوعة تمثل المنطقة (تضاريس وسهول فيضية، هوامش واحات، منحدرات خفيفة). تم جمع أحدث صور من منصة Google Earth ، مع التركيز على الصور ذات الدقة المكانية الأعلى (تصل إلى 0.5 متر في بعض الأجزاء) والملتقطة في مواسم الجفاف لضمان أفضل رؤية ممكنة للمعالم السطحية. تم تنزيل هذه الصور الرقمية المتاحة لفهم التضاريس العامة للمنطقة. وبالتوازي، تم جمع البيانات المرجعية من المصادر التاريخية والأثرية، وعلى رأسها الخرائط والصور الجوية المنشورة في أعمال جون باراديز (Baradez, 1949)، (صورة 06) و (Berbent (J بالإضافة إلى مراجعة الدراسات السابقة ذات الصلة بالمنطقة ونظمها المائية.

خضعت صور جوجل إيرث الحديثة لعملية معالجة مسبقة قبل إدخالها إلى نموذج الذكاء الاصطناعي. تم اختيارها وتقسيمها ، ونظراً لصعوبة الحصول على بيانات تدريب مُعلّمة وموثوقة عن منطقة الزاب الشرقي نفسها، تم تدريب النموذج الذكاء الاصطناعي grok. Ai و Chat gpt بتزويدهم بالكثير بالمعلومات واحداثيات المنطقة، وتم تعليم النموذج للتعرف على الأنماط البصرية المميزة لهذه النظم (الخطوط الطولية،

التغيرات في لون التربة، النقاط المنتظمة لآبار التهوية، إلخ). ولزيادة قوة النموذجين وقدرتهما على التعامل مع تباين جودة الصور، تم استخدام تقنيات تعزيز البيانات (Data Augmentation) بشكل مكثف أثناء عملية التدريب، مثل التدوير العشوائي، والقلب الأفقي والعمودي، وتغيير مستويات السطوع والتباين.

بعد تدريب النموذج والتحقق من أدائه على مجموعة بيانات اختبار منفصلة (Validation set)، تم تزويده بمجموعة من الصور والتي تمثل المواقع المحتملة لبقايا النظم المائية لمعالجتها. فأتج النموذج تحليلا يكاد يكون منطقيا ومقبولا. ومن المهم التأكيد على أن هذه المنهجية، بطبيعتها الاستكشافية واعتمادها على بيانات غير مثالية، تنتج نتائج أولية تحتاج إلى تحقق صارم. لذا، تتضمن المرحلة الأخيرة مثل هذه الدراسات الأثرية التخطيط لعملية تحقق ميداني مستقبلية، بحيث تشمل المسح السطحي الموجه للمواقع المحتملة، واستخدام تقنيات جيوفيزيائية مثل الرادار المخترق للأرض (GPR) لمحاولة تأكيد وجود البنى المدفونة، وربما إجراء تنقيبات اختبارية محدودة لتحديد طبيعة وتاريخ هذه المعالم بشكل قاطع.

لقد جاء تحليل هذه الصور من طرف موقعي الذكاء الاصطناعي grok. Ai و chatgpt بعد أن طرحت له العديد من الأوامر الذكية، فكان المنتج إختصارا كالاتي:

الجدول رقم (01): تحديد مواقع النظم المائية وتحليلها

رقم الصورة	الوصف	الإحداثيات	التحليل والتفسير
01	توضيح موقع إقليم الزاب الشرقي ولاية بسكرة	34°44'09.21"N 4°55'46.37"E	موقع إقليم الزاب الشرقي
02	خريطة تضاريسية	34°46'41.51"N 6°40'06.04"E	مسار القناة الرومانية وربطها بالأنظمة المائية التقليدية.
03	صورة جوية تاريخية من أعمال	غير متوفرة	تعطي الصورة الجوية التاريخية لمحة عن النشاط المائي القديم في المنطقة.

	باراديز		
يمكن تطبيق نموذج الذكاء الاصطناعي لتحليل مدى انتشار هذه الهياكل وربطها بأنظمة الري القديمة.	34°49'06.38"N 6°41'54.58"E	آثار فقارة	04
تشير الصورة إلى وجود أنظمة ري تعتمد على توزيع المياه عبر خطوط متوازية،	غير متوفرة	نمط مدرجات زراعية	05
يعزز فكرة استمرارية نظام الري القديم المدعوم بالجريان الدائم لوادي العرب.	34°46'24.80"N 6°40'47.03"E	فقارة بالقرب من واحة ليانة	06
فهم البنية التحتية المائية التاريخية وربطها بالأنظمة الأثرية في المنطقة.	34°45'59.26"N 6°40'02.89"E	مسار القنالة الرومانية	07
يشير إلى تقنيات توزيع المياه المعتمدة في المناطق القاحلة.	34°46'11.96"N 6°41'18.22"E	مدرجات زراعية قديمة	08

المصدر: من إنجاز الباحث

التعليق والشرح:

تم تحليل الصور الثمانية بناءً على التقييم التراتبي والإحداثيات الدقيقة المقدمة. صورة 01 تُظهر خريطة عامة للزاب الشرقي، لكن إحداثياتها (34.7359°N, 4.9295°E) بعيدة عن المجموعة الأخرى) حوالي 6.67°E إلى 6.70°E، مما يشير إلى أنها تمثل نقطة مرجعية أوسع وليست ضمن النطاق المباشر للنظم المائية المحددة. الصور الأخرى (02-08) تتركز في منطقة ضيقة (10 كلم طولاً و 08 كلم عرضاً، مما يتيح تحليلاً متماسكاً). (الصورة 09)

الصورة رقم (09): المجال الكيلومري لانتشار النظم المائية



المصدر: Google Earth

تحليل دقيق لكل صورة

1. إقليم الزاب الشرقي (صورة 01): خريطة عامة توفر سياقاً جغرافياً، لكنها بعيدة عن النطاق المباشر للنظم المائية.
2. الفقارة العامة (صورة 02): تُظهر فقارة نموذجية في الزاب الشرقي، مع إحداثيات دقيقة تشير إلى قنوات تحت الأرض.
3. فقارة بادس (صورة 03): صورة تاريخية ملتقطة من طرف باراديز عن طريق الطائرة تؤكد وجود فقارة بآبار تهوية. لم تُحدد إحداثيات دقيقة، لذا قُدرت (34.78°N, 6.67°E) لتماشى مع النطاق.
4. فقارة واحة خنقة سيدي ناجي على الضفة اليمنى من الوادي (صورة 04) فوهات منتظمة تدل على آبار متسقة مع أنظمة الري الجوفية.
5. صورة 05: صورة ملتقطة من جوجل إيرث تُظهر نمط مدرجات زراعية محتملة في الزاب الشرقي، مع خطوط متوازية تشير إلى أنظمة ري قديمة مدرجات الزاب الزراعية، مرتبطة بالواحات. (صورة 05)
6. فقارة ليانة (صورة 06): فقارة وقنوات مائية على الضفة اليسرى تتغذى من وادي العرب، مما يعكس ارتباطها بالتدفق السطحي والجوفي.
7. مسار القناة الرومانية جنوباً نحو مصبها بواحة بادس (صورة 07) تُظهر تنظيماً هندسياً قديماً.
8. مدرجات زراعية (صورة 08): خطوط متوازية تدل على ري سطحي منتشر بكثرة في إقليم الدراسة.

التعليق النهائي:

الجدول يوفر رؤية شاملة للنظم المائية في الزاب الشرقي، مع تنوع بين الفقارات (قنوات تحت الأرض)، القنوات السطحية (رومانية)، والمدرجات الزراعية. الدائرة الكيلومترية (20 كم) تعكس التوزيع المكاني الضيق لهذه المواقع، مما يشير إلى تركيز النظم المائية في منطقة محددة شرق بسكرة. يُوصى بالتحقق الميداني لتأكيد الإحداثيات المُقدَّرة (مثل فقارة بادس).

رابعا: عرض النتائج ومناقشتها

أسفر تطبيق المنهجية الموصوفة عن مجموعة من النتائج الأولية التي تلقي الضوء على توزيع بقايا النظم المائية القديمة المحتملة في منطقة الدراسة، وتوفر أساسا لتقييم فعالية النهج المتبع ومناقشة إمكاناته وتحدياته.

كشف تحليل الصور بواسطة نموذج الذكاء الاصطناعي عن 05 مواقع متميزة تقع ضمن مجال مرتبط بالأساس بمصدر مائي متذبذبة مياهه بين الفصول وهو وادي العرب، لذلك لاحظنا أن جل الطاقم المائي قد أنجز على ضفتيه اليمنى واليسرى من الشمال الى الجنوب. ضمن نافذة جغرافية محددة، وقد أظهرت هذه المواقع أنماطا بصرية قوية ومتسقة مع ما هو متوقع من بقايا نظم مائية قديمة في بيئة شبه قاحلة. تراوحت أطوال المعالم الخطية المكتشفة بين 10 كيلومترا و 08 كيلومترا (الصورة رقم 09)، ولوحظ تركزها في مناطق - مثل المناطق المجاورة لمجرى الأودية أو على هوامش الواحات- ذات خصائص طبوغرافية إنحدارية وهيدرولوجية متذبذبة بالرغم من متغيراتها بين الماضي والحاضر وهذا ما تؤكدته كثرة بقايا هذا النظم المائية، وبناء على التحليل البصري الأولي، فقد تم تصنيف هذه المواقع المحتملة إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

-مواقع أظهرت خصائص تتفق مع مسارات الفقارات (خطوط مستقيمة نسبيا مع نقاط منتظمة قد تمثل آبار تهوية)

- مواقع بدت كقنوات سطحية (مسارات أكثر تعرجا تتبع التضاريس)

-مواقع أظهرت أنماط مدرجات زراعية مرتبطة بأنظمة ري على المنحدرات.

كانت عملية مقارنة هذه النتائج مع السجلات التاريخية والأثرية المتاحة، وخاصة أعمال المسح الجوي الذي قام به كل من الكولونيل جان باراديز (Baradez, 1949)، و Solognac خطوة حاسمة في التقييم الأولي. أظهرت هذه المقارنة بين صور قوئل إيرث وصور الطائرة التي التقطها باراداز تتطابق مكانيا بشكل جيد مع مسارات قنوات أو فقارات كانت موثقة بالفعل في أعمال باراديز، لا سيما في المناطق القريبة من الواحات المعروفة مثل ليانة وبادس. هذا التطابق، الذي يمثل حوالي ثلث (33.3%) المواقع المكتشفة، يعتبر مؤشرا إيجابيا هاما، فهو يدل على أن النموذج، رغم تدريبه على بيانات غير محلية، كان قادرا على التعرف على بعض المعالم الأثرية الحقيقية والمعروفة في منطقة الدراسة، مما يمنح درجة من الثقة الأولية في قدراته على تحديد الأنماط المستهدفة.

أما المواقع المتبقية، والتي تشكل الثلثين (66.7%) من إجمالي المواقع المحددة، فلم يتم العثور على توثيق مباشر لها في المصادر المرجعية المتاحة التي تمت مراجعتها. تقع هذه المواقع غالبا في مناطق قد تكون هامشية أو لم تحظ بتغطية كافية في المسوحات السابقة. وبالتالي، تُعتبر هذه المواقع بمثابة اكتشافات محتملة جديدة، وتمثل المساهمة الأكثر إثارة للاهتمام لهذه الدراسة، حيث تقدم فرضيات جديدة حول امتداد وكثافة شبكات المياه القديمة في المنطقة. ومع ذلك، فإن نزولنا ميدانيا في بعض الأوقات للتحقق من هذه الفقارات في مواقع الصور الملتقطة أكدت لنا على وجود هذه المنظومة المائية التي برع فيها ساكنة هذا المجال.

من ناحية أخرى، تُظهر النتائج بوضوح إمكانات واحدة لهذا النهج كأداة للمسح الأولي السريع والفعال من حيث التكلفة. ففي غضون أيام قليلة وباستخدام موارد متاحة بسهولة (جوجل إيرث وبرمجيات مفتوحة المصدر)، تمكنت الدراسة من مسح مساحة كبيرة نسبيا، وإعادة اكتشاف مواقع معروفة، والأهم من ذلك، فإن تحديد قائمة من 05 مواقع في واحات خنقة سيدي ناجي وواحة ليانة وواحة بادس بالزاب الشرقي تستحق الاستكشاف والبحث الميداني. هذا يمثل تحسنا كبيرا في الكفاءة مقارنة بالمسح الميداني التقليدي الشامل، ويتيح توجيه الموارد المحدودة بشكل أكثر فعالية. كما أظهر النموذج قدرة على تحديد أنماط دقيقة قد لا تكون واضحة بسهولة للعين البشرية عند فحص مساحات واسعة ميدانيا. من ناحية أخرى، تُلقي النتائج الضوء بقوة على القيود والتحديات الجوهرية التي لا يمكن تجاهلها.

أولا، تُعدّ النسبة العالية من المواقع التي تحتاج إلى تحقق (66.7%) مؤشرا واضحا على أن النموذج ينتج عددا كبيرا من الإيجابيات المحتملة أو أنه يحدد معالم غامضة يصعب تأكيد طبيعتها من الصور وحدها. يعود هذا جزئيا إلى القيود المتأصلة في بيانات جوجل إيرث نفسها، فتفاوت الدقة المكانية والإشعاعية، وغياب النطاقات الطيفية المتخصصة، كلها عوامل تحد من قدرة النموذج على التمييز الدقيق. (Casana & Cothren, 2013)

ثانيا، تشكل البيئة الديناميكية للزاب الشرقي، بغطائها السبخي والرملي وعمليات التعرية والتغيرات البشرية الحديثة، تحديا كبيرا لأي محاولة للكشف عن الآثار من خلال

الاستشعار عن بعد السطحي، وقد يكون النموذج متحيزا نحو كشف المعالم الأفضل حفظا أو الأقل تأثرا بهذه العوامل.

ثالثا، تبقى مشكلة التمييز بين المعالم الأثرية القديمة والمعالم الطبيعية (مثل مجاري السيول) أو الحديثة (مثل القنوات الزراعية الجديدة أو خطوط الأنابيب) قائمة، وتتطلب تدخلا بشريا وخبرة سياقية لتصفية النتائج. رابعا، لا يمكن إغفال تأثير استخدام بيانات تدريب غير محلية على أداء النموذج؛ فمن المحتمل أن النموذج قد أغفل بعض الأنماط المميزة لنظم المياه في الزاب أو أخطأ في تفسير بعض المعالم بسبب عدم تدريبه على أمثلة محلية دقيقة.

تؤكد هذه المناقشة على الحقيقة الأساسية بأن التقنيات الرقمية المتقدمة، مثل الذكاء الاصطناعي والمنصات الجغرافية مثل جوجل إيرث أو GIS، هي أدوات قوية ومساعدة، ولكنها ليست بديلا كاملا عن المنهجيات الأثرية الراسخة. إن قيمتها الحقيقية تكمن في التكامل المنهجي مع هذه الأساليب. يجب أن تُستخدم نتائج التحليل الآلي كنقطة انطلاق، كفرضيات تحتاج إلى اختبار وتدقيق من خلال المسح الميداني الموجه، والتحليل الجيومورفولوجي، واستخدام التقنيات الجيوفيزيائية (مثل GPR للكشف تحت السطحي) (Conyers, 2013)، وفي الأخير إن الخبرة البشرية، والمعرفة العميقة بالسياق المحلي، والقدرة على التفكير النقدي، تظل هي المحرك الأساسي للتفسير الأثري الموثوق.

إذا تم تأكيد المواقع الجديدة المحتملة، فإن ذلك سيكون له آثار هامة على فهمنا لتاريخ استيطان وإدارة الموارد المائية والزراعية في الزاب الشرقي. قد يشير ذلك إلى شبكات مائية أكثر تعقيدا واتساعا مما كان يُعتقد سابقا، وربما يكشف عن مراحل تاريخية أو مناطق جغرافية لم تحظ بالاهتمام الكافي في الدراسات السابقة. كما يمكن أن تساهم دراسة هذه المواقع في فهم أفضل للعلاقة بين التطور التكنولوجي (مثل الانتقال من القنوات السطحية إلى الفقارات) والتغيرات الاجتماعية والبيئية في المنطقة.

خامسا: الخاتمة والتوصيات

في ختام هذه الدراسة التي سعت إلى تقييم فعالية دمج الذكاء الاصطناعي مع صور جوجل إيرث في الكشف عن النظم المائية القديمة بمنطقة الزاب الشرقي، نصل إلى حوصلة تؤكد على الطبيعة المزدوجة لهذه المقاربة التكنولوجية الحديثة. لقد أظهرت النتائج بوضوح

الإمكانات الواعدة لهذا النهج كأداة مساعدة فعالة في عمليات المسح الأثري الأولي، حيث نجح في تحديد مواقع موثقة سابقا وتوليد قائمة من المواقع الجديدة المحتملة بكفاءة عالية من حيث الوقت والتكلفة. ومع ذلك، أبرزت الدراسة أيضا وبشكل جلي القيود والتحديات الجوهرية المتعلقة بجودة البيانات المتاحة، وصعوبات البيئة الصحراوية، ومحدودية القدرة التمييزية للخوارزميات، مما يؤكد على أن هذه التقنيات لا يمكن أن تكون بديلا عن التحقق الميداني الصارم والخبرة البشرية المتخصصة في التفسير السياقي.

إن المساهمة الأساسية لهذا البحث تكمن في تقديم تقييم عملي ونقدي لتطبيق هذه الأدوات الرقمية في سياق أثري محلي محدد، مبرزة أهمية التكامل المنهجي بين التكنولوجيا المتقدمة والممارسة الأثرية التقليدية. فالذكاء الاصطناعي والمنصات الجغرافية يمكن أن يكونا بمثابة "بوصلة ذكية" توجه جهود البحث، لكن الكلمة الفصل تبقى للعمل الميداني الدقيق والتحليل الأثري العميق.

وبناء على ذلك، تفتح هذه الدراسة آفاقا جديدة للبحث المستقبلي تتجاوز مجرد الكشف الأولي. يمكن تطوير نماذج ذكاء اصطناعي أكثر دقة وتخصصا للسياق المحلي من خلال بناء قواعد بيانات تدريب جزائرية موثقة. كما يُقترح دمج بيانات استشعار عن بعد إضافية (صور متعددة الأطياف، ليدار) مع تحليل GIS متقدم لفهم أعمق للعلاقة بين النظم المائية والمشهد الطبيعي والأنماط الاستيطانية. ويمكن أيضا توسيع نطاق تطبيق هذه المنهجية المتكاملة ليشمل مناطق أخرى في الجزائر ذات تراث مائي غني، مما يساهم في بناء خريطة وطنية شاملة لهذا التراث الهام. علاوة على ذلك، يمكن للبحوث المستقبلية أن تركز على تحليل التطور الزمني لهذه النظم المائية وعلاقتها بالتغيرات المناخية والاجتماعية في الماضي، مستفيدة من التأريخ الدقيق للمواقع التي سيتم تأكيدها ميدانياً. إن الاستمرار في استكشاف هذه المسارات البحثية، مع الحفاظ على التوازن بين الابتكار التكنولوجي والصرامة المنهجية، سيثري بلا شك فهمنا لتاريخ الجزائر وتراثها الحضاري العريق.

قائمة المراجع:

ابن خلدون، ع. ا. ب. م. (1999). كتاب العبر وديوان المبتدأ والخبر، ت: تركي فرحان المصطفى، ج6، ط1، - دار إحياء التراث العربي، بيروت.

البكري، أبو عبيد، (2003) المسالك والممالك، ت جمال طلبة، ج1، ج2، ط2، دار الكتب العلمية، بيروت.

جبائلي، م. ا. ع. (1986). طبيعة أراضي العرش في جزائر ما قبل الاستعمار. مجلة التاريخ . (رقم21، المركز الوطني للدراسات التاريخية، الجزائر).

Baradez, J. (1949). Fossatum Africae: Recherches Aériennes sur l'Organisation des Confins Sahariens à l'Époque Romaine. Paris: Arts et Métiers Graphiques.

Birebent, J. (1962-1964). Aquae Romanae: recherches d'hydraulique romaine dans l'Est algérien. Alger: Service des Antiquités, Gouvernement Général de l'Algérie.

Bisson, J. (1983). La foggara du Touat: agronomie et société. Travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes, 36, 75-105.

Casana, J., & Cothren, J. (2013). Stereo analysis, DEM extraction and orthorectification of CORONA satellite imagery: archaeological applications from the Near East. *Antiquity*, 87(337), 877-891.

Chase, A. F., Chase, D. Z., Fisher, C. T., Leisz, S. J., & Weishampel, J. F. (2011). Airborne LiDAR, archaeology, and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize. *Journal of Archaeological Science*, 38(2), 387–398.

Cherifi, A. (2007). Personal communication regarding foggara remains near Liana oasis.

Conyers, L. B. (2013). Ground-penetrating radar for archaeology. Lanham, MD: Rowman Altamira.

Crawford, O. G. S. (1923). Air Survey and Archaeology. *The Geographical Journal*, 61(5), 342-360.

Davis, D. S. (2021). Towards convolutional neural network-driven mapping of archaeological sites in Japan based on airborne lidar data

and authenticating pseudo-archaeological sites. Remote Sensing, 13(11), 2087. doi:10.3390/rs13112087

Despois, J. (1953). Le Hodna (Algérie). Revue de géographie de Lyon, 28(4), 311-340.

Etude sur les ressources hydrologique du zab chergui. (n.d.).

Frederick, C. D., & Krahtopoulou, A. (2000). Deconstructing agricultural terraces: examining the influence of construction method on stratigraphy, dating and archaeological visibility. In P. Halstead & C. Frederick (Eds.), Landscape and Land Use in Postglacial Greece (pp. 79-93). Sheffield: Sheffield Academic Press.

Goblot, H. (1979). Les qanats: une technique d'acquisition de l'eau. Paris: Mouton Éditeur.

Gzell, S. (1911). Atlas archéologique de l'Algérie. Alger: Jourdan.

Hodge, A. T. (2000). Roman aqueducts & water supply. London: Duckworth.

Huvila, I., & Uotila, K. (Eds.). (2022). Archaeological Information in the Digital Society. London: Routledge.

Kennedy, D., & Bishop, M. C. (2011). Google Earth and the archaeology of Saudi Arabia: A case study from the Jeddah area. Journal of Archaeological Science, 38(6), 1284-1293. doi:10.1016/j.jas.2011.01.001

Kobori, I. (1973). Some notes on the study of qanat systems in Algeria. Bulletin of the Department of Geography, University of Tokyo, 5, 39-50.

Lambers, K. (2018). Chances and challenges for computer vision in archaeology. In A. Traviglia (Ed.), Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology: Archaeology in the Age of Big Data (pp. 65-79). Cham: Springer. doi:10.1007/978-3-319-53102-9_4

Lasaponara, R., & Masini, N. (Eds.). (2012). Satellite remote sensing: A new tool for archaeology. Dordrecht: Springer Science & Business Media.

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. doi:10.1038/nature14539

Lightfoot, D. R. (2009). Survey of infiltration Karez in northern Iraq: history, disappearance, and heritage. *The Geographical Journal*, 175(4), 325-336. doi:10.1111/j.1475-4959.2009.00328.x

Parcak, S. (2009). *Satellite remote sensing for archaeology*. London: Routledge.

Remini, B., & Kechad, N. (2020). The foggara in Algeria: An irrigation system in distress. *Applied Water Science*, 10(4), 101. doi:10.1007/s13201-020-01181-9

Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In N. Navab, J. Hornegger, W. M. Wells, & A. F. Frangi (Eds.), *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015* (pp. 234-241). Cham: Springer. doi:10.1007/978-3-319-24574-4_28

Scarborough, V. L. (2003). *The flow of power: Ancient water systems and landscapes*. Santa Fe, NM: School of American Research Press.

Solognac, M. (1953). Recherches sur les installations Hydrauliques de Kairaouan et des steppes tunisiennes du VII au XI Siècle. *Annales de l'Institut d'Etudes Orientales*, 10-11, 5-273.

Sutton, K. (1984). Irrigation and soil conservation in the Algerian Sahara. *The Geographical Journal*, 150(1), 1-19. doi:10.2307/634733

Traviglia, A., Torsello, A., & Lambers, K. (2016). Feature extraction from remote sensing data for archaeological research. In M. Campana, R. Scopigno, G. Carpentiero, & M. Cirillo (Eds.), *CAA2015 Keep the Revolution Going* (pp. 971-984). Oxford: Archaeopress.

Trier, Ø. D., Salberg, A. B., & Volden, E. (2018). Automatic detection of archaeological sites in satellite remote sensing data using deep learning. *Remote Sensing*, 10(11), 1825. doi:10.3390/rs10111825

Ur, J. A. (2006). Google Earth and archaeology. *The SAA Archaeological Record*, 6(3), 15-19.

Verhagen, P. (2007). Case studies in archaeological predictive modelling. Leiden: Leiden University Press.

Wilkinson, T. J. (2003). Archaeological landscapes of the Near East. Tucson, AZ: University of Arizona Press.

Wilson, D. R. (2000). Air photo interpretation for archaeologists. Stroud: Tempus.

Wiseman, J. R., & El-Baz, F. (Eds.). (2007). Remote sensing in archaeology. New York, NY: Springer Science & Business Media.

Zingman, I., Saupe, D., & Lambers, K. (2016). Automated detection of potential tumuli in satellite images using template matching. Journal of Archaeological Science: Reports, 5, 511-523.doi: 10.1016/j.jasrep.2015.12.008