Libyan Open University Journal of Applied Sciences (LOUJAS)
Volume 2 - Issue 1 - 2026 - Pages 503-511

The Use of Geographic Information Systems (GIS) in Documenting and Analyzing Raw Material Quarries for the Cement Industry in Libya: A Case Study of the Souq Al-Khamis Plant

Eng. Laila Massaud El-Mazugha[1*], Eng. Masaoud M. Hanbula[2], Eng. Mohamed Khaled Alturki[3]
[1,2,3] Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering. University of Tripoli,Libya
*** Email (for reference researcher):** L.Almazoghy@uot.edu.ly

استخدام نظم المعلومات الجغرافية في توثيق وتحليل محاجر المواد الخام لصناعة الإسمنت في ليبيا – دراسة حالة مصنع سوق الخميس

ليلى مسعود المزوغي [*1] مسعود محمد حنبوله[2] ، محمد خالد التركي[3]
[1،2،3] قسم هندسة التعدين، كلية الهندسة، جامعة طرابلس، ليبيا

Received: 10-03-2026; Accepted: 20-05-2026; Published: 30-05-2026

Abstract

This study addresses the importance and role of Geographic Information Systems (GIS) in improving and developing the management of mining activities for raw material quarries used in the cement industry. Through a case study on the quarries of the Souk El-Khamis cement plant in Libya, the research focused on establishing a spatial geodatabase using ArcGIS software. This was aimed at mapping, documenting, and archiving quarry locations, estimating reserves, and analyzing the geological and geomechanical properties of the extracted rocks. The study relied on field data and previous technical reports to build spatial layers and analyze geological relationships and mining field boundaries, thereby improving resource utilization efficiency and supporting planning and management processes. The results demonstrated that the utilization of GIS enhances the decision-making process and elevates the efficiency of mining operations management. The study recommends expanding this approach to the remaining cement plants in Libya and establishing an integrated national system for geological and mining data.

Keywords: Geographic Information Systems GIS Cement Industry Limestone Mining Souq Al Khamis Libya Spatial Databases.

الملخص

تتناول هذه الدراسة أهمية و دور نظم المعلومات الجغرافية في تحسين و تطوير إدارة النشاط التعديني لمحاجر المواد الخام المستخدمة في صناعة الإسمنت، و من خلال دراسة تطبيقية على محاجر مصنع سوق الخميس في ليبيا، ركزت الدراسة على إنشاء قاعدة بيانات مكانية باستخدام برنامج(ArcGIS ، بهدف حصر وتوثيق وأرشفة مواقع المحاجر وتقدير الاحتياطيات وتحليل الخصائص الجيولوجية و الجيوميكانيكية للصخور المستخرجة. واعتمدت الدراسة على بيانات ميدانية وتقارير فنية سابقة ، وتم بناء طبقات مكانية وتحليل العلاقات الجيولوجية وحدود الحقول التعدينية، مما ساهم في تحسين كفاءة استغلال الموارد ودعم عمليات التخطيط والإدارة. وأظهرت النتائج أن توظيف نظم المعلومات الجغرافية يعزز عملية اتخاذ القرار، ويرفع كفاءة إدارة العمليات التعدينية ، وتوصي الدراسة بتعميم هذه التجربة على بقية مصانع الإسمنت في ليبيا، وإنشاء منظومة وطنية متكاملة للبيانات الجيولوجية والتعدينية.

الكلمات المفتاحية :نظم المعلومات الجغرافية، الإسمنت، الحجر الجيري، مصنع سوق الخميس، ليبيا، قواعد البيانات الجغرافية.

المقدمة

تعتبر صناعة الأسمنت من الصناعات الحيوية والاستراتيجية التي تمر بعدة مراحل أساسية تبدأ باختيار الخامات المناسبة التي تحتوي على المكونات الضرورية للصناعة، تليها عمليات الاستخراج، التكسير، الطحن لإنتاج الكلنكر، وأخيرًا خلطه بنسبة محددة من الجبس للحصول على الأسمنت. وتتطلب هذه المراحل رقابة صارمة على الجودة، من خلال متابعة

(LOUJAS) **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/)

ومن العوامل المؤثرة في جودة الأسمنت .خصائص المواد من حيث تركيبها الداخلي، شكلها الفيزيائي، وبنيتها الطبيعية تحقيق التوازن بين مكوناته ومدى تناسق نسب العناصر الداخلة في تصنيعه، حيث تُستخدم معادلات محددة لضبط الخلطات وضمان مطابقتها للمعايير المعتمدة.وعلى الرغم من توفر الخامات الأولية في ليبيا، إلا أن القدرة الإنتاجية لمصانع الشركة الأهلية لا تغطي حجم الطلب المحلي، مما يستدعي استيراد كميات إضافية من الخارج، ومن هنا يهدف هذا البحث إلى تقديم دراسة شاملة و تقييم مكاني للخامات المستخدمة في صناعة الأسمنت، استنادًا إلى البيانات والتقارير السابقة الخاصة بموقع الإنتاج والمحاجر، ونظراً لأن عمليات جمع البيانات وتحليلها من المصادر الورقية استغرقت وقتاً وجهداً كبيراً من ومن هنا برزت الحاجة إلى إنشاء نظام حديث لإدارة هذه المعلومات بطريقة إلكترونية منظمة. وبالاستفادة من .الباحثين كأداة فعالة لأرشفة المعلومات وإدارة (GIS) التطور التقني، ركزت هذه الدراسة على استخدام نظم المعلومات الجغرافية .البيانات المكانية والوصفية، مما يساعد في تحسين التخطيط واتخاذ القرار بشأن المصانع وتطويرها مستقبلاً

مشكلة الدراسة

رغم وجود احتياطيات كبيرة من المواد الخام، إلا أن المشاكل التالية تحد من فعالية الاستغلال:

1. ضعف توثيق البيانات الجغرافية والجيولوجية للمحاجر.
2. الاعتماد على تقارير ورقية قديمة وغير موحدة.
3. صعوبة مشاركة البيانات بين الجهات ذات العلاقة.
4. عدم وجود قاعدة بيانات رقمية وطنية متكاملة تشمل كافة للمحاجرومكوناتها.

أهداف الدراسة

1. إنشاء قاعدة بيانات جغرافية لمحاجر مصنع سوق الخميس.
2. أرشفة وتحليل بيانات الحفر وطبقات الخام.
3. تقدير الاحتياطات الممكنة والمؤكدة للمواد الخام.
4. دمج المعلومات الجغرافية بالخصائص الوصفية والجيوميكانيكية للصخور عبر بيئة نظامGIS

الدراسات السابقة

تُظهر الدراسات السابقة تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في أرشفة وتحليل البيانات المتعلقة بالموارد والعمليات الصناعية في ليبيا، وفيما يلي سيتم التطرق الى بعض هذه الدراسات:

الدراسة الاولى: أوضحت دراسة El Wamdeni وآخرون (2024) أهمية دمج نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد في علاقتها بحصر وتقييم بيئة المحاجر، من خلال إنشاء قواعد بيانات مكانية متعددة الطبقات (جيولوجية، طبوغرافية، بيئية)، مما ساهم في تقدير احتياطيات الحجر الجيري والمواد المصاحبة بدقة ودعم التخطيط التعديني المستدام. (El-Wamdeni et al., 2024)

وتناولت الدراسة الثانية: تقييم الواقع الإنتاجي و التشغيلي لمصنع سوق الخميس للإسمنت، مستعرضة مراحل الإنشاء والقدرة الإنتاجية التصميمية التي تبلغ مليون طن سنوياً، وخلصت الدراسة إلى انخفاض الإنتاج الفعلي مقارنة بالقدرة الإنتاجية التصميمية للمصنع، ويعزي ذلك إلى تدنٍ في كفاءة التشغيل، وعدم انتظام التفجير واستخدام معدات متهالكة مع صعوبة توفير قطع الغيار، وأوصت الدراسة بإجراء صيانة دورية واستخدام برامج تفجير علمية،وتحسين معدات السلامة. (الربيعي وآخرون، 2005)

الدراسة الثالثة: ركزت على توثيق خواص الركام الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية لمحاجر الركام الخشن، في أربع مناطق ليبية، مع توظيف نظم المعلومات الجغرافية، لأرشفة البيانات وحصر المحاجر، والإمكانات المتاحة للاستعلام الجغرافي وتصنيف مصادر الركام، وأشارت إلى نقص البيانات المتوفرة، مما يستدعي من إنشاء قاعدة بيانات جغرافية متكاملة لدعم التنمية والتطوير. (الرشراش وآخرون، 2018)

الدراسة الرابعة: بيّنت دراسة Chaurasia و Mohapatra (2023) فاعلية استخدام التحليل المكاني المعتمد على GIS في تقييم التأثيرات البيئية لأنشطة المحاجر عبر الزمن، وأكدت أن دمج صور الأقمار الصناعية مع البيانات الجيولوجية يعزز القدرة على مراقبة التغيرات الأرضية ودعم اتخاذ القرار الاستراتيجي. (Chaurasia & Mohapatra, 2023)

منهجية الدراسة:

- **جمع البيانات :** تم الحصول على البينات من تقارير مصانع الشركة الأهلية، خاصة مصنع سوق الخميس.
- **تحليل الخامات** : شمل التحليل تقييم الخصائص الميكانيكية للصخور المستخرجة من آبار الحفر، حيث تم جمع 20 عينة من مجموعتي G9 وG4، وتم قياس مقاومة الضغط غير المحصور(UCS) ، مقاومة الشد، والصلادة، بالإضافة إلى توثيق أعماق الاستخراج لكل عينة. وقد تمت معالجة البيانات إحصائيًا بهدف تقدير التباين بين المجموعات ودراسة العلاقات بين السمات الميكانيكية المختلفة للمادة الخام
- **تحديد المواقع** :باستخدام إحداثيات دقيقة للمحاجر.
- **إنشاء قاعدة بيانات مكانية(GIS):** تشمل النقاط، الخطوط، والمضلعات لتمثيل الحقول ومواقع الحفر.

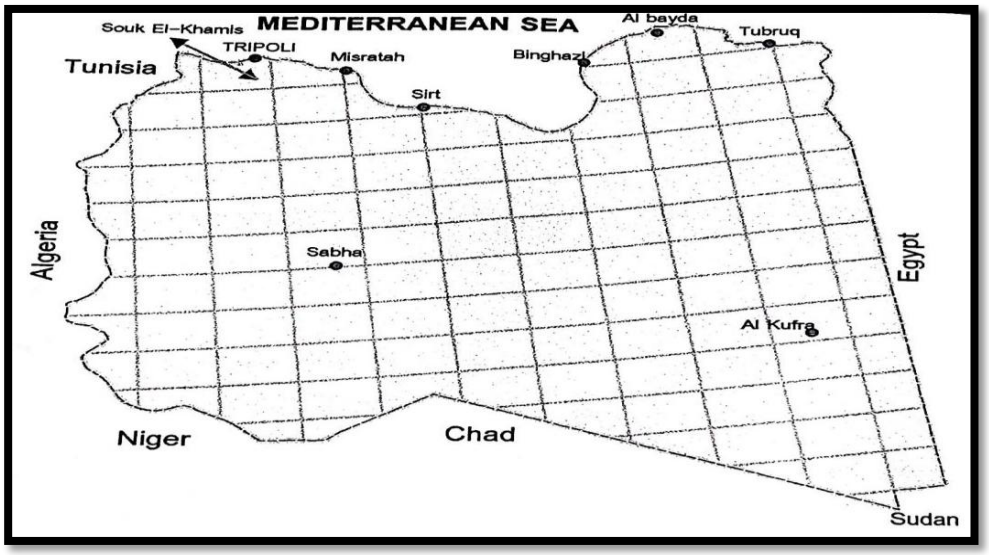
(LOUJAS) **Copyright**: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions .of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

- **استخدام أدواتArcGIS :** تم الاعتماد على ArcCatalog و ArcMap 10.8 لبناء وربط الطبقات وتحليل العلاقات.

موقع منطقة الدراسة:

يقع مصنع سوق الخميس جنوب مدينة طرابلس بحوالي 57.5 كم منها بمنطقة سوق الخميس كما هو موضح بالشكل (1) (مركز البحوث الصناعية، 2008)، و يقع موقع الدراسة جنوب منطقة سوق الخميس بحوالي 17 كم، وتبعد المحاجر حوالى 5 كم الى الشرق من مصنع سوق الخميس للإسمنت ضمن خريطة (فم ملغة) الطبوغرافية بمقياس رسم (1:50000) التابعة للوحة طرابلس الجيولوجية، بين خطى طول $13^0 20' 00''$ & $13^0 17' 00''$ شرقا، وخطى عرض $32^0 24' 00''$ & $32^0 22' 00''$ شمالا، كما تصل المنطقة بطريق فرعي معبد بين الطريق الرئيسي ((ترهونة - سوق الخميس)) بمقبرة سيدى جابر القريبة من الموقع، ويعتمد في تغذيته على محاجر ضمن تكوين العزيزية الترياسي. تم الاعتماد على بيانات حقلية وجيولوجية تغطي أكثر من 12 حقلًا، تشملA :، C، D، E1–E5، G، والبشير I و II . الشكل (2) يوضح موقع الدراسة على خارطة ليبيا. (مركز البحوث الصناعية، 2007)

شكل (1) خريطة جوية للمصنع



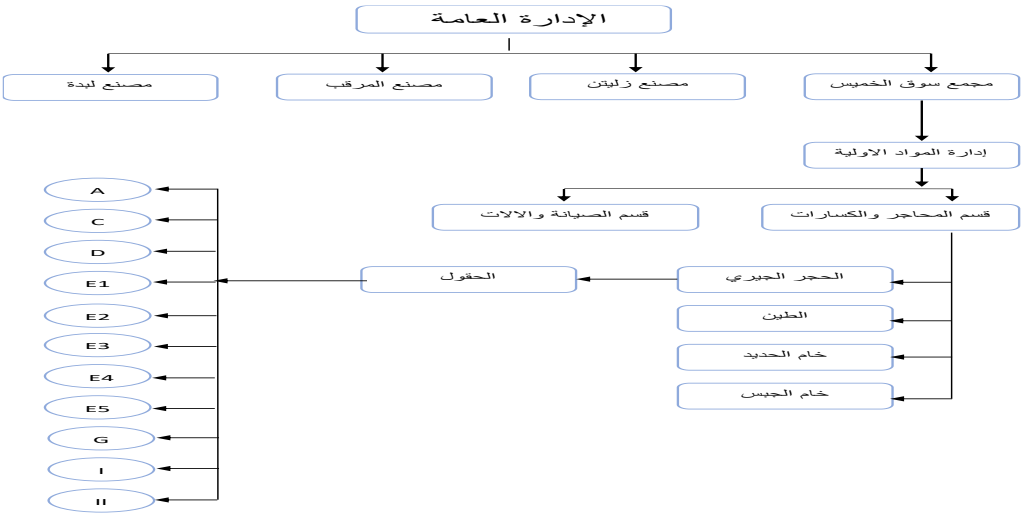
شكل(2) يوضح الموقع على خارطة ليبيا

(LOUJAS) **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/)

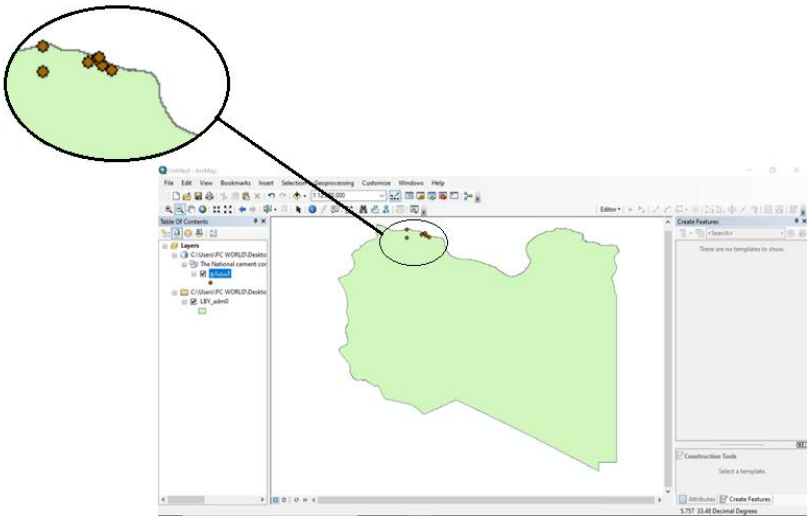
Libyan Open University Journal of Applied Sciences (LOUJAS)
Volume 2 - Issue 1 - 2026 - Pages 503-511

الدليل العملي:

تتمثل الصعوبة الأساسية التي تواجه الباحثين في صعوبة الوصول إلى البيانات والمعلومات المتعلقة بحقول الخامات، نظراً لعدم توفرها بسهولة للمستثمرين والمهتمين بإقامة مشاريع مستقبلية في المنطقة، ولهذه الأسباب تم إنشاء قاعدة بيانات رقمية للشركة الأهلية للإسمنت ومجمع سوق الخميس يوضح الشكل (3)المخطط الهيكلي لتسلسل البيانات داخل النظام، بينما يوضح الشكل (4) الإحداثيات الجغرافية للمصانع وحقول المواد الخام، ولتنفيذ هذه المنظومة، تم استخدام برنامج ArcCatalog لإنشاء قاعدة بيانات مكانية من نوع (Personal Geodatabase)، مع ربطها وإدارتها مباشرة في بيئة ArcMap .



شكل (3) تسلسل قاعدة البيانات



شكل (4) موقع مصانع الشركة الأهلية للإسمنت

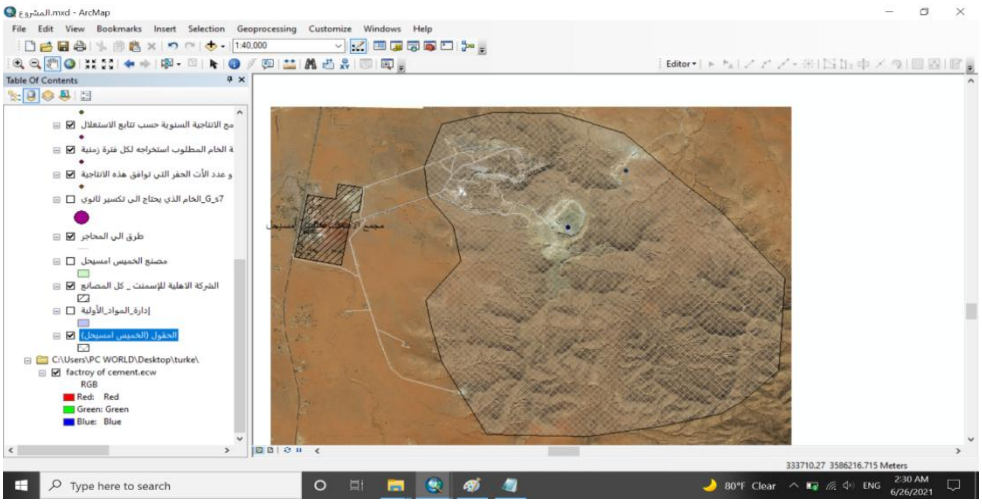
نتائج الدراسة والمناقشة:

أولاً: هيكلية قاعدة البيانات الجغرافية ورسم المعالم المساحية:

تضمنت المخرجات الرقمية للبحث تأسيس قاعدة بيانات جغرافية متكاملة لربط المعالم المكانية للمحاجر بمتغيراتها الفنية والوصفية. حددت عمليات التتبع الرقمي (Digitizing) الحدود المساحية المغلقة (Polygons) لـ مصنع إسمنت سوق الخميس (خميس إمسيحل) والحقول التعدينية التابعة له، مع حفظ وتثبيت التعديلات الهندسية في بيئة النظام لمنع التداخل المكاني وضمان دقة حساب المساحات. وينتج عن هذا الربط نمذجة مكانية توضح التوزيع الجغرافي النهائي لخطوط

(LOUJAS) **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/)

الطرق، ونقاط توزيع المحاجر، والمحيط المساحي للمصنع ومطابقتها الميدانية كما يظهره الشكل (5). تتيح هذه الهيكلية الرقمية إدارة جداول البيانات الوصفية(Attribute Tables) ، وبناء علاقات ربط مكانية وتبادلية متقدمة (Relates) لدمج المتغيرات الجغرافية بالخصائص النوعية والميكانيكية لآبار الحفر الاستكشافية، مما يضمن مرونة الاستعلام الفوري وتحديث البيانات الحقلية مباشرة داخل النظام. (نوفل، 2017)



شكل (5): التوزيع الجغرافي النهائي لطبقات المعالم المكانية والمحاجر المقيمة

ثانياً: التقييم التعديني والتحليل الإحصائي للخواص الجيوميكانيكية:

1. تقدير الاحتياطي :(Reserve Estimation)

أظهرت النمذجة المكانية والمقاطع الجيولوجية المعتمدة لحقول المواد الخام تقديراً دقيقاً لحجوم كميات الخام المستخرجة؛ حيث بلغ الاحتياطي المؤكد (Proven Reserves) لخام الحجر الجيري في الحقل (G) وحده أكثر من 54مليون طن، مما يضمن استمرارية التغذية لخطوط الإنتاج لسنوات قادمة وفق البيانات الجغرافية والميدانية الموثقة

2. الملخص الإحصائي للمتغيرات الميكانيكية:

جرى تقييم الخصائص الميكانيكية والمظهر الطباقي لـ (20)عينة صخرية سُحبت من آبار الحفر الاستكشافية، ويوضح الجدول رقم (1) التحليل الإحصائي الشامل لهذه المتغيرات؛ حيث بلغ متوسط عمق العينات 39.70متر، وسجل متوسط مقاومة الضغط أحادي المحور (UCS) قيمة 93.05ميجا باسكال (MPa) بحد أقصى وصل إلى 160.67ميجا باسكال، بينما بلغ متوسط مقاومة الشد 6.38 ميجا باسكال، وجاء متوسط الصلادة 3.06، مما يصنف صخور الحجر الجيري بالمنطقة ضمن الصخور ذات المقاومة والصلادة العالية هندسياً.

الجدول :(1) ملخص إحصائي للمتغيرات الميكانيكية (N=20)

المتغير	المتوسط	الانحراف المعياري	الحد الأدنى	الحد الأقصى
العمق(m)	39.70	24.21	9.00	82.00
UCS (MPa)	93.05	35.91	38.04	160.67
الشد(MPa)	6.382	2.590	2.41	10.88
الصلادة	3.060	0.094	3.00	3.20

المصدر: جدول الاختبارات الميكانيكية (2-2)

3. التحليل والمقارنة حسب مجموعات الآبار (G4 وG9):

بمقارنة القطاعات الصخرية لآبار الحفر، يوضح الجدول رقم (2) والجدول رقم (3) توزيع المتغيرات الإحصائية لمقاومة الضغط (UCS) ومقاومة الشد(Tensile) ، حيث أظهرت عينات المجموعة (G9) البالغ عددها 14 عينة متوسط مقاومة ضغط يبلغ 93.963ميجا باسكال، بينما سجلت عينات المجموعة (G4) البالغ عددها 6 عينات متوسطاً يبلغ 90.920 ميجا باسكال .وفي اختبارات الشد، بلغت القيمة المتوسطة لعينات (G9) حوالي 6.871 ميجا باسكال مقابل 5.240ميجا باسكال لعينات(G4) ، مما يشير إلى تقارب أولي في معدلات الصلادة والمقاومة بين مختلف قطاعات المحجر.

(LOUJAS) **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/)

الجدول (2): ملخص إحصائي لمتغير مقاومة الضغط (UCS) حسب المجموعات

المجموعة	N	المتوسط	الانحراف المعياري	الأصغر	الأكبر
G9	14	93.963	25.667	48.93	123.45
G4	6	90.920	56.377	38.04	160.67

الجدول (3): ملخص إحصائي لمتغير مقاومة الشد (Tensile) حسب المجموعات

المجموعة	N	المتوسط	الانحراف المعياري	الأصغر	الأكبر
G9	14	6.871	2.208	3.93	10.88
G4	6	5.240	3.252	2.41	9.34

تحليل التباين أحادي الاتجاه(One-Way ANOVA) :

لتأكيد التجانس الصخري إحصائياً، أُجري نموذج تحليل التباين (ANOVA) مرتين لمقارنة متوسطات مقاومة الضغط (UCS) ومقاومة الشد (Tensile) بين مجموعتي الآبار (G4 وG9)، ويوضح الجدول رقم (4) نتائج التحليل، حيث جاءت القيمة الاحتمالية لمتغير الضغط (P-value = 0.8675)ولمتغير الشد (P-value = 0.2048)، وكلاهما أكبر بكثير من مستوى الدلالة المعتمد (0.05). وتثبت هذه النتيجة غياب أي فروق ذات دلالة معنوية بين المجموعتين، مما يؤكد التجانس الإحصائي والميكانيكي التام للخواص الصخرية ضمن نفس الوحدات التعدينية المقيمة.

الجدول (4): نتائج تحليل ANOVA لمقارنة مجموعتي الآبار G4 وG9

المتغير	F	p-value	عدد المجموعات	N الكلي
UCS	0.0286	0.8675	2	20
Tensile	1.7310	0.2048	2	20

4. **معاملات الارتباط:(Pearson Correlation)**

بيّنت مصفوفة الارتباط الموضحة في الجدول رقم (5)عن طبيعة العلاقات التبادلية بين المتغيرات الميكانيكية وعمق العينات؛ حيث سُجّل ارتباط متوسط وموجب ذو دلالة إحصائية بين مقاومة الشد ومقاومة الضغط أحادي المحور (R = 0.71)، في حين جاءت بقية العلاقات الارتباطية ضعيفة جداً وقريبة من الصفر. وأبرز هذه العلاقات هو انعدام الارتباط تماماً بين عمق استخراج العينات الصخرية وقيمة مقاومة الضغط (R = -0.006)، وتُعزى هذه النتيجة جيولوجياً إلى التجانس الرأسي الشديد وطبيعة الترسيب البيئي المستقر لطبقات تكوين العزيزية الصخري، مما يؤكد أن زيادة أعماق الحفر والتشغيل داخل المحجر لا تؤثر عملياً على صلادة ومقاومة الخام المستخرج.

الجدول (5): مصفوفة ارتباط بيرسون بين المتغيرات المقاسة

المتغير	العمق(Depth)	مقاومة الضغط(UCS)	مقاومة الشد(Tensile)	الصلادة(Hardness)
العمق (Depth)	1.000	0.006−	0.090−	0.000≈
مقاومة الضغط(UCS)	0.006−	1.000	0.71	0.05~
مقاومة الشد (Tensile)	0.090−	0.71	1.000	0.10~
الصلادة (Hardness)	0.000≈	0.05~	0.10~	1.000

5. **سمك الطبقات من آبار G-1 إلىG-12 :**

بيّنت نتائج قياسات القطاعات الصخرية لـ 24 بئراً استكشافياً معدلات سمك الطبقات والمؤشرات الطباقية للمحجر، ويوضح الجدول رقم (6 (ملخص هذه البيانات الفنية؛ حيث بلغ متوسط منسوب رأس البئر 313متر، وجاء متوسط عمق الآبار

(LOUJAS) **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/)

الكلي 49متر .وسجل سمك طبقة الدولومايت الأعلى متوسطاً يبلغ 13متر، يليه الحجر الجيري العلوي بمتوسط 19متر، ثم الدولومايت العلوي بمتوسط 23متر، وصولاً إلى طبقة الحجر الجيري السفلي بمتوسط سمك يبلغ 27متر.

الجدول (6): ملخص معدلات سمك الطبقات الصخرية بالآبار(N=24)

المؤشر	المتوسط	الانحراف المعياري	الأصغر	الأكبر
منسوب رأس البئر	313~	10~	295.5	326
عمق البئر	49~	13~	33	82
سمك الدولومايت الأعلى	13~	9~	6	36
سمك الحجر الجيري العلوي	19~	9~	7.5	33
سمك الدولومايت العلوي	23~	7~	13.5	33
سمك الحجر الجيري السفلي	27~	8~	10.5	37.5

6. بيانات الاحتياطي بعد التنظيف:

بيّنت حسابات التقييم الرقمي المودعة في المنظومة الجغرافية توزيع احتياطيات خام الحجر الجيري (العلوي والسفلي) مقدرة بالطن، ويوضح الجدول رقم (7 (تصنيف هذه الكميات؛ حيث سجل الحجر الجيري العلوي احتياطياً مؤكداً يبلغ 14,997,262.8طن واحتياطياً محتملاً يبلغ 2,008,916طن، في حين سجل الحجر الجيري السفلي احتياطياً مؤكداً يبلغ 39,014,293.01طن، واحتياطياً محتملاً يقدر بـ 1,529,610طن، واحتياطياً ممكناً بقيمة 11,052,461.3طن . وبذلك يرتفع الإجمالي العام للاحتياطي المؤكد في قطاعات الدراسة إلى 54,011,555.81 طن، مما يضمن تأمين الإمدادات الاستراتيجية للمصنع.

الجدول (7): الاحتياطي المؤكد والمحتمل والممكن لخام الحجر الجيري (بالطن).

نوع الخام و الطبقة	الاحتياطي المؤكد (طن)	الاحتياطي المحتمل (طن)	الاحتياطي الممكن (طن)
الحجر الجيري العلوي	14,997,262,8	2008916	—
الحجر الجيري السفلي	39,014,293,01	1,529,610	11,052,461,3
الإجمالي	54,011,555,81	3,538,526	11,052,461,3

7. التقييم الميكانيكي للصخور ونماذج القوالب وأعمال الحفر والتفجير:

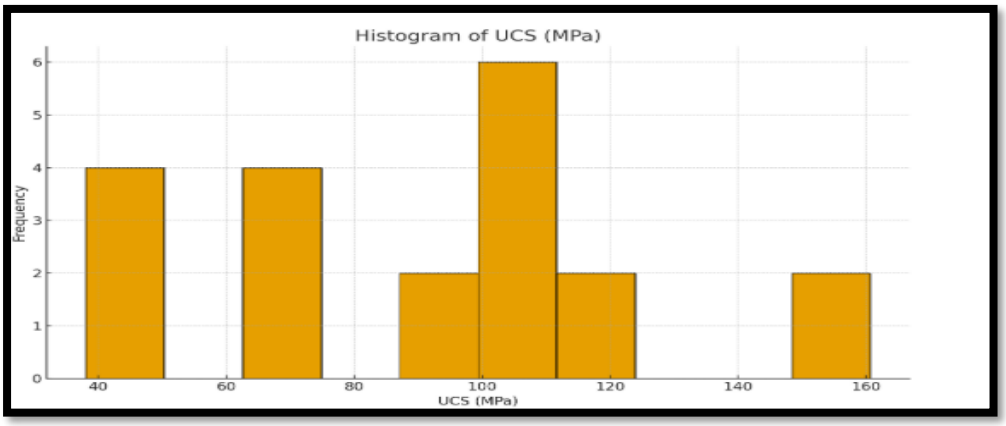
استُخدمت نتائج تقييم الخصائص الميكانيكية وتجانس الصلادة العالية للحجر الجيري في تصميم التخطيط التعديني الجغرافي، فعلى سبيل المثال، سجلت عينة البئر (G9-3) عند عمق 27 متراً مقاومة ضغط بلغت 123.45نيوتن/مم² . وبناءً على هذه المعطيات والطاقة التصميمية للمصنع، جرى ترتيب وجدولة عمليات الاستخراج الميداني وفق نماذج قوالب تعدينية محددة تشمل القوالب(IV ،III ،II) .كما اعتُمدت أبعاد شبكات الحفر والتفجير باستخدام ثقوب بقطر 64ملم، وأعماق تتراوح بين 10 إلى 15 متراً لتتناسب مع ارتفاع المصاطب(Benches) ، مع التقييم المستمر للشحنة النوعية للمتفجرات لضمان التفتيت الأمثل للصخور وتقليل الهدر الاقتصادي. توفر قاعدة البيانات الجغرافية المعتمدة في هذه الدراسة تغطية شاملة للحقول الجيولوجية ومكونات محاجر مصنع سوق الخميس، مما يدعم عمليات اتخاذ القرار الفني والتخطيط المستقبلي على أسس علمية دقيقة.

8. توزيع مقاومة الضغط وتجانس الخواص الميكانيكية:

أظهرت نتائج الفحوصات المخبرية تبايناً في قيم مقاومة الضغط أحادي المحور (UCS) بين مجموعات الآبار، حيث تراوحت المقاومة في عينات المجموعة الأولى (G4) بين 38.04 و160.67 ميجا باسكال(MPa) ، بينما سجلت عينات المجموعة الثانية (G9) قيماً تراوحت بين 48.93 و123.45 ميجا باسكال .ويُظهر الشكل (6) التوزيع التكراري والمنحنى الإحصائي لتوزيع قيم هذه المقاومة في منطقة الدراسة. ولتحديد مدى معنوية هذا التوزيع، أثبتت نتائج تحليل التباين أحادي الاتجاه (One-Way ANOVA) الموضحة في الجدول رقم (4) وجود تجانس إحصائي عالي وثبات في الخواص الميكانيكية بين قطاعات الحفر، حيث جاءت القيمة الاحتمالية المحسوبة (P-value = 0.8675) وهي أكبر بكثير من مستوى الدلالة المعتمد (0.05)، مما يؤكد إحصائياً عدم وجود فروق ذات دلالة بين متوسط المقاومة لعينات الحجر الجيري، ويضمن استقرار جودة الخام المغذي لخطوط الإنتاج.

(LOUJAS) **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/)

Libyan Open University Journal of Applied Sciences (LOUJAS)
Volume 2 - Issue 1 - 2026 - Pages 503-511



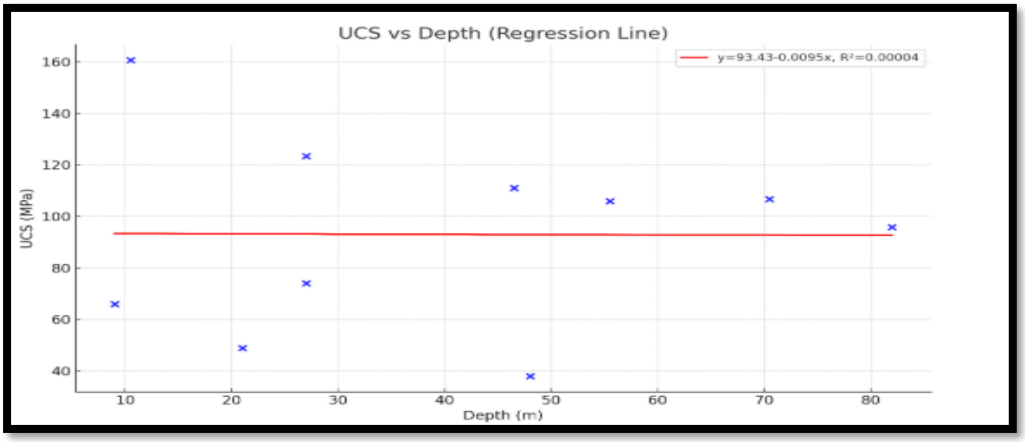
شكل (6) توزيع مقاومة الضغط

10. **العلاقة الإحصائية بين العمق ومقاومة الضغط:**

بيّن تطبيق معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation) الموثق في مصفوفة الجدول رقم (5) غياب أي علاقة خطية أو ارتباط متبادل بين عمق استخراج العينات الصخرية وقيم مقاومة الضغط(UCS). ويُوضح الشكل (7) رسم التشتت البياني (Scatter Plot) وتشتت النقاط مع عدم وجود ميل واضح، حيث يُمثل الخط المستقيم معادلة الانحدار التالية:

$$UCS = 93.43 - 0.0095 \ Depth$$

بمعامل تحديد($R^2 = 0.00004$) ، وهو ما يؤكد إحصائياً أن العمق لا يفسر أي تغير في مقاومة الصخر ضمن العينات الحالية. وتُعزى هذه النتيجة جيولوجياً إلى التجانس الرأسي الشديد وطبيعة الترسيب البيئي الأفقي المستقر لطبقات خامات الحجر الجيري و الدولوميت في منطقة الدراسة، مما يؤكد علمياً أن زيادة أعماق الحفر والتشغيل داخل المحجر لا تؤثر سلباً أو إيجاباً على قوة وصلادة الخام المستخرج.



شكل (7) العلاقة بين العمق ومقاومة الضغط

النتائج والمناقشة:

التحليل الإحصائي للخصائص الميكانيكية للصخور

أظهرت النتائج الإحصائية عدم وجود فروق معنوية بين مجموعتي (G9 و G4) في خصائص مقاومة الضغط احادي المحور (UCS) أو مقاومة الشد، كما بيّنت مصفوفة الارتباط علاقة متوسطة بين الشد و UCS ، حيث بلغ معامل الارتباط (r ≈0.71)، في حين لم تُسجل علاقة ذات دلالة بين عمق استخراج العينات وبين الخصائص الميكانيكية المقاسة، إذ سجل معامل التحديد قيمة ضئيلة جداً بلغت($R^2 \approx 0.00004$).

تؤكد هذه المعطيات أن التغير المحدود في الخواص الميكانيكية يرجع إلى اختلافات نسيجية ومعدنية صخرية، وليس مرتبطاً بعمق سحب العينات داخل المحجر. وعزز دمج هذه البيانات داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) القدرة على تفسير توزيع الخصائص الميكانيكية مكانياً وربطها بالطبقات الجيولوجية الميدانية، مما ساهم في تحقيق المخرجات العلمية والتطبيقية التالية:

(LOUJAS) **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/)

1. تحسين كفاءة تحديد أولويات التعدين :أتاح تحليل الطبقات المكانية والبيانات الجيولوجية ترتيب المواقع التعدينية وفقاً لمعايير نوع الخام، والقرب من خطوط الإمداد والبنية التحتية، والتأثير البيئي المحتمل، مما يسهم في توجيه العمليات نحو القطاعات الأكثر جدوى اقتصادية.
2. تسريع الوصول إلى البيانات الجيولوجية :أسهم توحيد البيانات الفنية والميدانية ضمن بيئة مكانية رقمية موحدة في تقليص الجهد والزمن اللازمين لاستدعاء المعلومات وتحليلها مقارنة بالأساليب الورقية التقليدية.
3. تطوير تقديرات الاحتياطيات والمخططات الإنتاجية :ساعد بناء النماذج الرقمية والبيانات المكانية المحدثة على رفع موثوقية تقديرات الاحتياطي المتاح للاستخراج، إلى جانب تعزيز دقة نماذج الجدولة والخطط التشغيلية للمصنع.
4. دعم قرارات التخطيط الصناعي المستقبلي :وفرت المنظومة قاعدة بيانات مكانية قابلة للتحديث المستمر، مما يدعم متخذي القرار في وضع خطط تشغيلية طويلة الأم

الخلاصة

تُبرز هذه الدراسة أهمية اعتماد نظم المعلومات الجغرافية في تنظيم وتحليل بيانات المحاجر التي تخدم صناعة الإسمنت، كما هو الحال في محاجر مصنع سوق الخميس. فقد ساعد استخدام هذه التقنية على بناء قاعدة بيانات مكانية متكاملة، مما أدى إلى تحسين إدارة الموارد الخام، وزيادة دقة تقدير الاحتياطات، وتسهيل الوصول إلى المعلومات الجيولوجية بشكل أكثر كفاءة. كما وفّرت بيئة العمل الرقمية إطارًا فعالًا لربط الجوانب المكانية بالبيانات الفنية، ما أتاح قاعدة معرفية قوية تدعم اتخاذ القرارات الفنية والتخطيط الصناعي على أسس علمية واضحة. وتوضح نتائج هذه الدراسة أن دمج نظم المعلومات الجغرافية في قطاع الصناعة لا يساهم فقط في تحسين كفاءة الإنتاج، بل يعزز أيضًا فرص استدامة الموارد وتوسيع نطاق تطبيق هذا النهج في مواقع صناعية أخرى داخل ليبيا.

التوصيات:

1. توصي الدراسة باستخدام GIS في كافة مصانع الإسمنت الليبية.
2. إنشاء منصة وطنية إلكترونية لربط كافة المحاجر بالمصانع والجهات السيادية ذات العلاقة. تدريب الكوادر الفنية على برامج GIS مثل ArcGIS و.QGIS
3. إدخال حكم وتحديث آلي لقاعدة البيانات لضمان مواكبة ومطابقة التغيرات الناتجة عن الاستخراج الفعلي.

المراجع:

1. Z. El-Wamdeni, (Inventory and analysis of quarries using Geographic Information System and remote sensing techniques for eco-friendly quarrying practices) مجلة ،*Ecological Engineering & Environmental Technology*م2024 ،10 العدد ،25 المجلد.
2. أكرم سالم الربيعي، (دراسة واقع مصنع سوق الخميس لصناعة الإسمنت)، هندسة التعدين، جامعة طرابلس، 2005م.
3. أحمد الرشراش، (استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تحديد مواقع محاجر الركام في ليبيا)، الهندسة المدنية، جامعة طرابلس، 2018م.
4. R. S. Chaurasia و S. N. Mohapatra ،(Remote sensing and GIS based approach to evaluate the impact of stone quarrying and crushing activities on land resources) مجلة ،*Journal of Sustainable Mining*م2023 ،4 العدد ،22 المجلد .
5. مركز البحوث الصناعية، (الدراسة الجيولوجية التفصيلية للأحجار الجيرية لصناعة الإسمنت بمنطقة سوق الخميس – حقل(G)، لصالح الشركة الأهلية للإسمنت المساهمة، 2007م).
6. مركز البحوث الصناعية، (الدراسة الجيولوجية التفصيلية للأحجار الجيرية لصناعة الإسمنت بمنطقة سوق الخميس – حقل البشير(I ، لصالح الشركة الأهلية للإسمنت المساهمة، 2008م).
7. رشا صابر عبد القوى نوفل، (الرسم والتحليل ببرنامج نظم المعلومات الجغرافية)، الجزء الثاني، كلية الآداب، جامعة المنوفية، 2017م.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **LOUJAS** and/or the editor(s). **LOUJAS** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.

(LOUJAS) **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/)