الاستعانة بعلم الجيوكيمياء في تصنيف المحاجر ومدى تأثير العمل فيها على صحة العمال في القديم

أ.هيثم بوعزة
مؤسسة الانتماء: جامعة الشلف- باحث - مخبر: المجتمع ومشاكل التنمية المحلية - الجزائر

أ.بن قاصير بوبكر
مؤسسة الانتماء: باحث - معهد الآثار جامعة الجزائر 2 - مخبر البناء الحضاري للمغرب الأوسط - الجزائر

مستخلص:

تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على الأمراض المهنية التي أصابت عمال المحاجر في الفترة الرومانية، وخاصة مرض السيليكوز الرئوي الناتج عن استنشاق غبار السيليكا البلورية. رغم أن الإصابات الجسدية مثل الكسور كانت شائعة، إلا أن التركيز هنا هو على الأمراض التنفسية التي لم يُسلط عليها الضوء من قبل، وكذا تسليط الضوء على منهجية جديدة لدراسة تأثير المحاجر الرومانية على صحة العمال في القديم، من خلال الفحص البتروغرافي، تحليل XRD (حيود الأشعة السينية)، تحليل XRF (الأشعة السينية الفلورية) لعينات من المحاجر، لقياس نسبة السيليكا البلورية بأنواعها في المحاجر القديمة. تستند الدراسة إلى تحليل الأدلة الأثرية والهياكل العظمية من مواقع مثل بومبي وهيركولانيوم، إلى جانب مراجعة أعمال المؤرخين القدماء مثل بليني الأكبر وسترابون. توفر الدراسة فهمًا أعمق للمخاطر الصحية المرتبطة بظروف العمل القاسية في المحاجر الرومانية، مع التركيز على انتشار داء السيليكوز بين العمال.

الكلمات المفتاحية: السيليكوز، غبار السيليكا، عمال المحاجر، الفترة الرومانية، المخاطر الصحية.

The use of geochemistry in the classification of quarries and the impact of working in them on the health of workers in ancient times.

Haitem Bouazza
A.Benkacir Boubaker

Abstract

This study aims to shed light on occupational diseases that affected quarry workers during the Roman period, particularly pulmonary silicosis caused by inhaling crystalline silica dust. While physical injuries such as fractures were common, the focus here is on respiratory diseases that have not been previously highlighted. Additionally, the study introduces a new methodology to examine the impact of Roman quarries on workers' health in antiquity through petrographic examination, X-ray diffraction (XRD), and X-ray fluorescence (XRF) analysis of quarry samples, to measure the proportion of crystalline silica types

in ancient quarries. The study is based on the analysis of archaeological evidence and skeletal remains from sites such as Pompeii and Herculaneum, along with a review of the works of ancient historians like Pliny the Elder and Strabo. The study provides a deeper understanding of the health risks associated with the harsh working conditions in Roman quarries, with a focus on the prevalence of silicosis among workers.

Keywords: Silicosis, silica dust, quarry workers, Roman period, health risks.

مقدمة:

بعيدا عن الإصابات الجسدية الجلدية كالجروح والعظمية كالكسور وحوادث العمل الأخرى التي يصاب بها عمال المحاجر في الفترات القديمة خصوصا الفترة الرومانية، حيث تُظهر الدراسات الأثرية على الهياكل العظمية القديمة من مواقع مثل بومبي وهيركولانيوم في الإمبراطورية الرومانية، بالإضافة إلى محاجر الحجر الجيري في مصر القديمة، أدلة واضحة على تعرض العمال لحوادث عمل متكررة تسببت في كسور والتئام سيء للعظام. في بومبي، أظهرت الهياكل العظمية لعمال المناجم علامات على كسور التأمت بشكل سيء، مما يشير إلى وقوع حوادث عمل متكررة شملت العظام الطويلة مثل عظام الساقين والذراعين[1]. في محاجر الحجر الجيري في مصر القديمة، وُجدت أنماط من الكسور في الأضلاع والعظام الطويلة تشير إلى الإصابات الناتجة عن السقوط أو التعامل مع الأحجار الثقيلة[2]. في هيركولانيوم، أظهرت الهياكل العظمية علامات على كسور متكررة في العمود الفقري والأطراف، مما يشير إلى تعرض العمال لحوادث متكررة، مع شفاء الكسور بشكل غير متساوٍ يدل على عدم توفر الرعاية الطبية الكافية[3]. في مواقع المناجم في بريطانيا الرومانية، مثل ميناء ليدني، أظهرت الهياكل العظمية لعمال المناجم أدلة على كسور في الأضلاع والأطراف تعكس حوادث العمل المتكررة، مع مراحل شفاء مختلفة تشير إلى عدم التزام العمال بالراحة الكافية بعد الإصابات[4]. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت الأدلة من مناجم ريوتينتو في إسبانيا ومواقع أخرى مثل جرش في الأردن وبريدا في ألمانيا أن العمال كانوا يعانون من كسور وإصابات ناجمة عن ظروف العمل الشاقة والتعرض المزمن للغبار المعدني[5]. التحليل الأثري لهذه الكسور وفر فهمًا أعمق لطبيعة العمل والمخاطر الصحية التي واجهها العمال في الفترة القديمة.

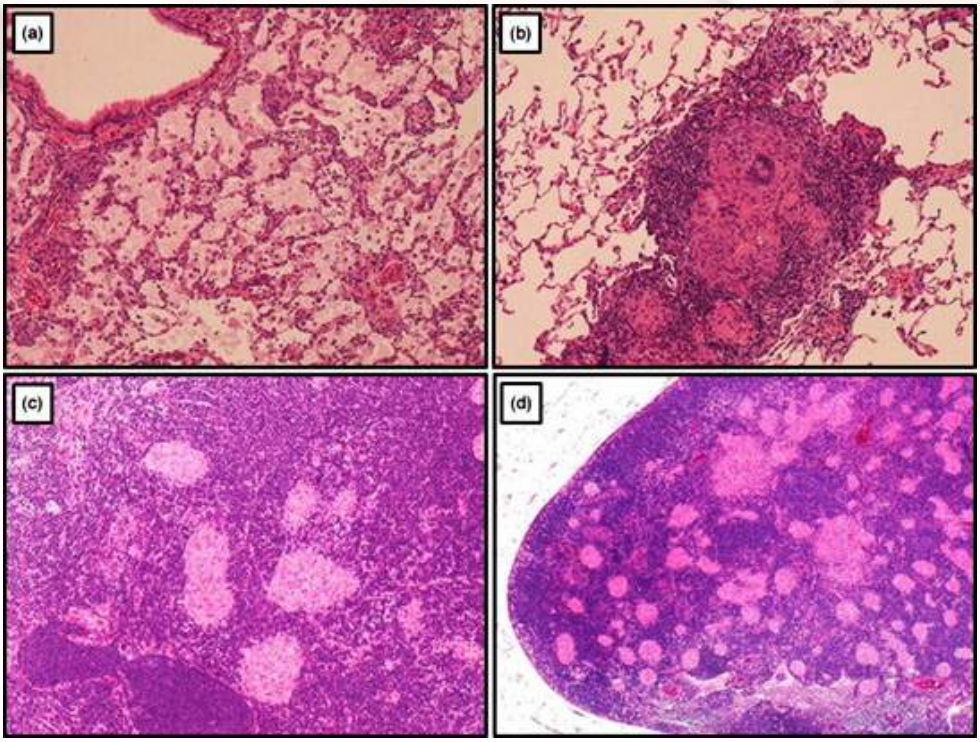
خلال بحثنا في المصادر القديمة خصوصا مؤلفات بليني الأكبر، المؤرخ روماني الذي كتب عن مواضيع متعددة منها المعادن والأمراض المهنية. «التاريخ الطبيعي»، لاحظنا أنه أشار إلى مخاطر استنشاق الغبار المعدني وتأثيره على صحة العمال في المناجم والمحاجر. حيث ذكر أن «... يؤدي استنشاق الغبار الناتج عن المعادن إلى أمراض مميتة، حيث يعاني العمال من مشاكل في التنفس وتندب في الرئتين...»[6]. كما وجدنا أن سترابون اليوناني الذي كتب عن جغرافيا العالم، بما في ذلك الموارد الطبيعية واستخداماتها. في كتابه «الجغرافيا»، أشار إلى الأعمال التعدينية والمخاطر

المرتبطة بها، مما يوفر سياقًا لفهم كيفية تعامل المجتمعات القديمة مع استخراج المواد الطبيعية والمخاطر الصحية المتعلقة بذلك. حيث ذكر سترابو: «العمال في المناجم والمحاجر يعانون من ظروف عمل قاسية تؤدي إلى أمراض تنفسية بسبب استنشاق الغبار»[7].

هنا تهدف الدراسة الى الإشارة إلى مرض لم يتم التطرق إليه مسبقا، ورغم أنه لا يوجد دليل على أن الأطباء الرومانيين قد أعطوا اسمًا محددًا لهذا المرض، ولكنهم كانوا على دراية بالمشاكل الصحية الناجمة عن استنشاق الغبار. هذه المعرفة تم توثيقها في أعمال المؤرخين الرومانيين واليونانيين القدماء مثل بليني الأكبر وسترابون كما ذكرنا سابقا. وهو داء السيليكوز، وهو مرض رئوي مزمن يحدث نتيجة استنشاق جسيمات السيليكا البلورية الحرة، وهو مادة تتواجد بشكل طبيعي في العديد من المواد مثل الحجارة الرملية والجيرية والجرانيت وغيرها بنسب متفاوتة. وهي في حد ذاتها الحجارة المستخرجة من المقالع الرومانية والمذكورة لدى المؤرخين القدماء حيث ذكر فيتريفيوس أن الحجر الجيري هو المستعمل بكثرة عند الرومان[8]، وهذا ما يعكس انتشار هذا النوع في المباني في شمال إفريقيا. وبالتالي قمنا بوضع تحليل يستعرض نسبة إصابة عمال مقالع الحجارة الرومانية بداء السيليكوز.

1/ آلية مرض السيليكوز:

السيليكوز يحدث عندما يستنشق الشخص غبار السيليكا البلوري الموجود في الهواء، والذي يمكن أن يأتي من مصادر مختلفة مثل الحجارة الرملية، الجيرية، الجرانيت، والرخام[9]. بمجرد استنشاقه، تصل جزيئات السيليكا إلى الأكياس الهوائية الصغيرة في الرئتين (الحويصلات الهوائية) حيث لا يمكن للجسم إزالتها بشكل فعال[10] (صورة 1). يحاول الجهاز المناعي تدمير أو إزالة جزيئات السيليكا عبر استخدام الخلايا البلعمية الكبيرة (الماكروفاج) التي تبتلع الجزيئات، لكن السيليكا تقاوم الهضم وتسبب تدمير الخلايا البلعمية الكبيرة، مما يؤدي إلى إطلاق إنزيمات تسبب التهابًا وتلفًا في الأنسجة[11]. نتيجة لهذه الاستجابة الالتهابية، يتكون نسيج ندبي في الرئتين، وبمرور الوقت يتزايد التندب مما يؤدي إلى تقليل مرونة الرئة وصعوبة في التنفس[12]. تتفاقم الأعراض تدريجيًا وتشمل السعال المستمر، ضيق التنفس، التعب، وفقدان الوزن غير المقصود، وفي الحالات المتقدمة يمكن أن تؤدي إلى فشل الجهاز التنفسي والوفاة[13].



الصورة1: بالمجهر الضوئي صور لأنسجة الرئة لجرذان تعرضت لجسيمات السيليكا البلورية بعد 6 أشهر من التعرض .لوحظ تحلل الخلايا البلعمية وتغلغل الخلايا البلعمية الرغوية في الحوصلات الهوائية؛ وتم تحفيز بروتينات الرئة السنخية (اللوحة A). لوحظت تشكيلات الأورام الحبيبية في النسيج البيني (اللوحة B). لوحظت أورام حبيبية متعددة البؤر في العقد الليمفاوية داخل الرئة (اللوحة C) وفي العقد الليمفاوية المحيطة بالشعب الهوائية (اللوحة D). .المصدر: Gernand, Jeremy M., et al. "Biological Response and Morphological Assessment of Individually Dispersed Multi-Wall Carbon Nanotubes in the Lung After Intratracheal Instillation in Rats." ResearchGate, 2010, https://www.researchgate.net/publication/45582658_Biological_response_and_morphological_assessment_of_individually_dispersed_multi-wall_carbon_nanotubes_in_the_lung_after_intratracheal_instillation_in_rats/figures?lo=1. Accessed 24 July 2024.

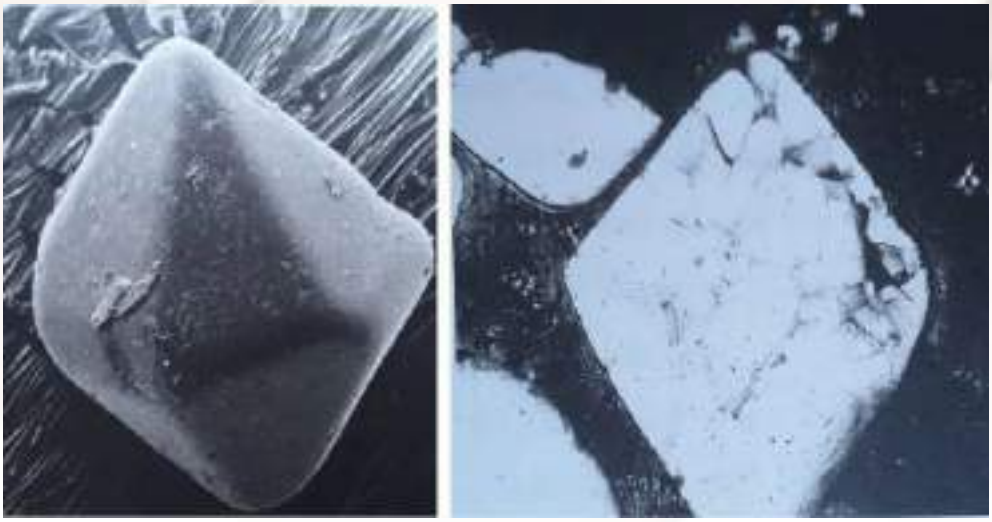
2/ كمية السيليكا في الحجر الرملي والجيري والجرانيت والرخام:

الحجر الرملي يحتوي على نسبة عالية من السيليكا، حيث يتكون غالبًا من الكوارتز (صورة 4)، وهو شكل من أشكال السيليكا البلورية. تتراوح نسبة السيليكا في الحجر الرملي بين 25% إلى 75% ([14]). من ناحية أخرى، يحتوي الحجر الجيري على كمية أقل من السيليكا مقارنة بالحجر الرملي، إذ يتكون أساسًا من كربونات الكالسيوم، لكن يمكن أن يحتوي على كميات صغيرة من السيليكا التي تتراوح بين 10% إلى 30% ([15]).أما الجرانيت، فيحتوي على نسبة متوسطة من السيليكا تتراوح

بـين 20% إلى 60%(صـورة 2)، ويتكـون مـن معـادن السـيليكا مثـل الكوارتـز، الفلسـبار، والميـكا[16]. بالنسـبة للرخـام، والـذي يتكـون أساسًـا مـن كربونـات الكالسـيوم مثـل الحجـر الجـيري، فإنـه يحتـوي عـلى كميـات ضئيلـة مـن السـيليكا أو الكريسـتوباليت (صـورة 3) تـتراوح بـين 1% إلى 5%. يكـون تركيـز السـيليكا في الرخـام أقـل بكثـير مقارنـة بالحجـر الرمـلي والجرانيـت[17].

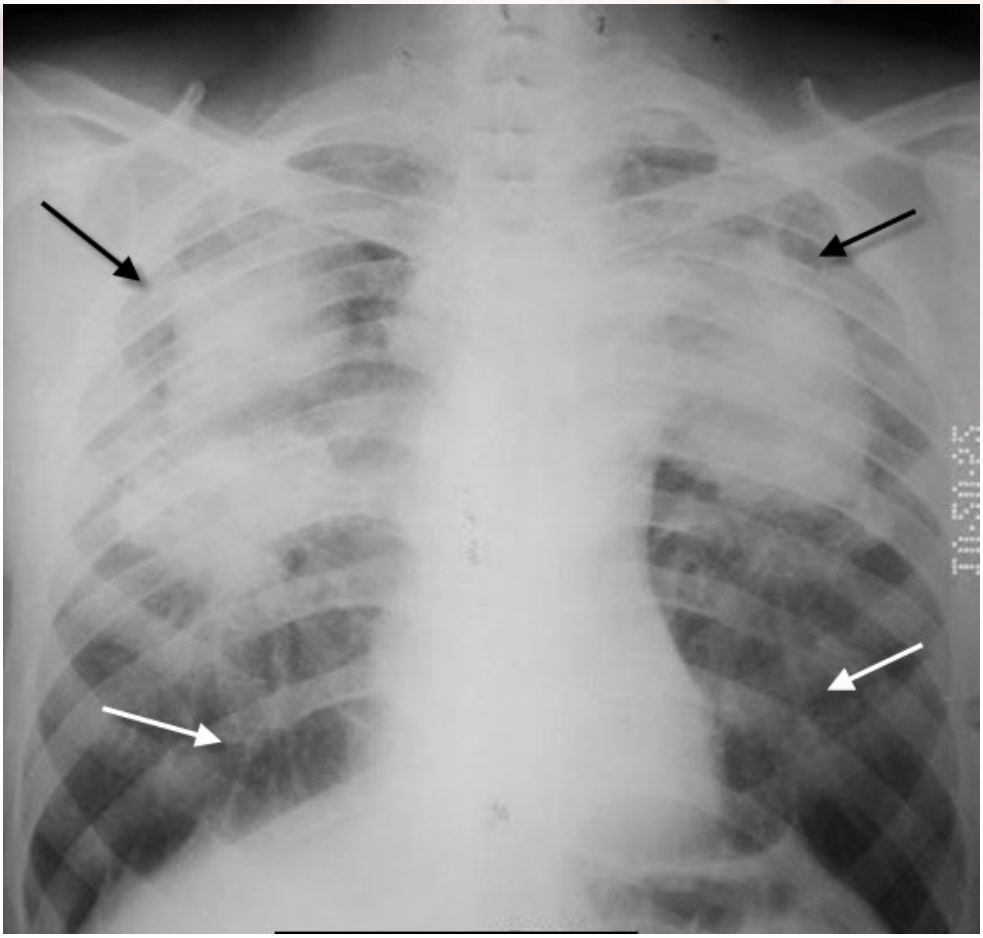
الصـورة2: بلـورات الكوارتـز السداسـية التـي تتواجـد في صخـور الجرانيـت وهـي نـوع مـن أنـواع السـيليكا. المصدر: Asp, Anna. "Smokey Quartz Crystals in Granite." Fotocommunity, https://www.fotocommunity.com/photo/smokey-quartz-crystals-in-granite-anna-asp/23516606. Accessed 24 July 2024.

الصورة3: بلورات الكريستوباليت نوع من انواع السيليكا في الصخور البركانية .المصدر: .Quartz.» Mindat, https://www.mindat.org/min-1155.html. Accessed 24 July 2024



الصورة4: يسار: صورة بالمجهر الإلكتروني لبلورة كوارتز ثنائية الهرم، مع حواف ونهايات مدورة قليلاً. يمين: مقطع رقيق لكوارتز بركاني من نفس الرواسب، يُظهر تصدعات ناجمة عن عملية تحضير المقطع. عرض كلا الحبيبين حوالي 0.3 ملم .المصدر: «Asiasellet Product Details. Asiasellet, https://asiasellet.best/product_details/54283226.html. Accessed 24 July 2024.

وبالتالي فإن نسبة التعرض للمرض بين عمال المحاجر بالنسبة للحجر الرملي الذي يحتوي على نسبة عالية من السيليكا، يجعل عمال محاجر الحجر الرملي أكثر عرضة للإصابة بالسيليكوز (صورة 5). الدراسات تشير إلى أن نسبة انتشار السيليكوز بين هؤلاء العمال حاليا يمكن أن تصل إلى 72% ([18]). من ناحية أخرى، يحتوي الحجر الجيري على نسبة أقل بكثير من السيليكا مقارنة بالحجر الرملي، حيث تتراوح النسبة بين 10% إلى 30%. بناءً على ذلك، فإن عمال محاجر الحجر الجيري يكونون أقل عرضة للإصابة بالسيليكوز بالمقارنة مع عمال محاجر الحجر الرملي، لكن لا تزال هناك مخاطر خاصة إذا كانت ظروف العمل سيئة أو إذا لم يتم استخدام معدات الوقاية الشخصية بشكل صحيح([19]). كما هو الحال في مقالع الحجارة في الفترة الرومانية. أما الجرانيت، فيحتوي على نسبة متوسطة من السيليكا تتراوح بين 20% إلى 60%. في دراسة أجريت على عمال محاجر الجرانيت، وُجد أن نسبة انتشار السيليكوز بين هؤلاء العمال يمكن أن تصل إلى 32.7% بعد خمس سنوات من التعرض لغبار السيليكا([20]).



الصورة5: الأشعة السينية لرئة شخص مريض بالسيليكوز في مرحلة متقدمة، حيثتوجد كثافات في أنسجة الرئة الرخوة في كلا الفصين العلويين (الأسهم السوداء) مع ندبات خطية ممتدة من الفصوص السفلية (الأسهم البيضاء). المصدر: Learning Radiology. (n.d.). Silicosis. Retrieved July 24, 2024, from http://www.learningradiology.com/notes/chestnotes/silicosis.htm

3/ تشخيص السيليكوز من خلال هيكل عظمي لشخص روماني:

تشخيص السيليكوز، أو أي مرض رئوي ناجم عن استنشاق الغبار، من خلال دراسة الهيكل العظمي لشخص عاش في العصر الروماني يُعد مهمة معقدة، ولكن هناك بعض العلامات التي يمكن أن تساعد الباحثين في التعرف على هذا المرض من خلال بقايا الهيكل العظمي. تعتمد هذه العملية على البحث عن أدلة غير مباشرة تشير إلى وجود مرض رئوي مزمن. يمكن استخدام عدة خطوات وأساليب، مثل تحليل العظام الطويلة، وفحص الأضلاع والعمود الفقري، والتحليل

الكيميائي، والفحص المجهري، ودراسة الآثار المشتركة للأمراض. في تحليل العظام الطويلة، قد تظهر علامات على الكسور نتيجة هشاشة العظام الناجمة عن نقص النشاط البدني بسبب ضيق التنفس المزمن، وأيضًا وجود التهابات مزمنة يمكن أن تكون ناتجة عن تراجع الصحة العامة ونقص([21]). عند فحص الأضلاع والعمود الفقري، يمكن أن تُظهر تغيرات هيكلية مثل التضخم أو التآكل الناتج عن التهاب طويل الأمد في الرئتين([22]). التحليل الكيميائي للعظام، مثل تحليل النظائر المستقرة، يمكن أن يكشف عن النمط الغذائي والحالة الصحية العامة، مما يشير إلى وجود أمراض مزمنة. كما يمكن أن يكشف التحليل الكيميائي عن وجود مستويات عالية من المعادن الثقيلة، مما يدل على التعرض المزمن لغبار السيليكا([23]). يمكن أيضًا استخدام التحليل المجهري لفحص العظام تحت المجهر للبحث عن علامات على التليف الرئوي المزمن، مثل وجود ترسبات صغيرة من السيليكا([24]). أخيرًا، يجب النظر في وجود أعراض أخرى متزامنة مع السيليكوز مثل التدرن الرئوي (السل) الذي كان شائعًا في العصور القديمة ويمكن أن يتفاقم بسبب أمراض الرئة([25]). كما أن تشخيص السيليكوز من خلال هيكل عظمي روماني يتطلب نهجًا متعدد التخصصات يجمع بين علم الأحياء القديمة، الكيمياء التحليلية، والتحليل المجهري. هذا النهج يمكن أن يساعد الباحثين في الكشف عن علامات الأمراض التنفسية المزمنة التي تأثرت بها العمالة الرومانية القديمة نتيجة التعرض لغبار السيليكا.

4/ما مدى تأثير العمل في المحاجر الرومانية على صحة العمال في القديم:

قد يبدو الأمر للوهلة الأولى مستحيلا، مما أدى بنا بعد محاولات عديدة استخلاص طريقة تقوم على مجموعة تحاليل الفيزيائية والكيميائية تتمثل في (قياس نسبة السيليكا البلورية ومقارنتها مع نسبة توفر المياه في المنطقة)، والتي يمكن من خلالها معرفة الأوضاع الصحية داخل المحجرة، وبالتالي يمكن تلخيص مراحل الطريقة في ما يلي :

أ. أجمع العينات: في دراسة المحاجر الرومانية، يتم جمع العينات الحجرية كخطوة أساسية لفهم خصائص المحجرة والتأثيرات الصحية المحتملة على العمال. يتم اختيار من 3 إلى 10 عينات حجرية، بأحجام تتراوح بين 3 إلى 6 سم^3، من مواقع مختلفة داخل المحجرة لضمان التمثيل الجيولوجي الشامل. تُستخدم تقنية GPS لتوثيق الموقع الجغرافي لكل عينة بدقة، مما يسهم في تحليل دقيق للموقع وتحديد المصادر الجغرافية للعينات. تُوثّق الظروف الميدانية المحيطة بكل موقع، مثل الشقوق والرطوبة ودرجة الحرارة، لتوفير سياق كامل لتحليل العينات. هذه المنهجية، كما، تضمن جمع بيانات موثوقة لدراسة المخاطر الصحية المرتبطة بالعمل في المحاجر الرومانية.

ب. نقل وتخزين العينات الحجرية: تُعتبر الحاويات المستخدمة عاملاً أساسياً في الحفاظ على سلامة العينات من التلف أو التلوث. يُفضل استخدام حاويات متينة، مثل البلاستيك السميك أو المعدنية، لضمان قدرتها على تحمل الوزن الثقيل وحماية العينات. كما تُبطن الحاويات بمواد مثل الفوم أو الإسفنج لامتصاص الصدمات ومنع

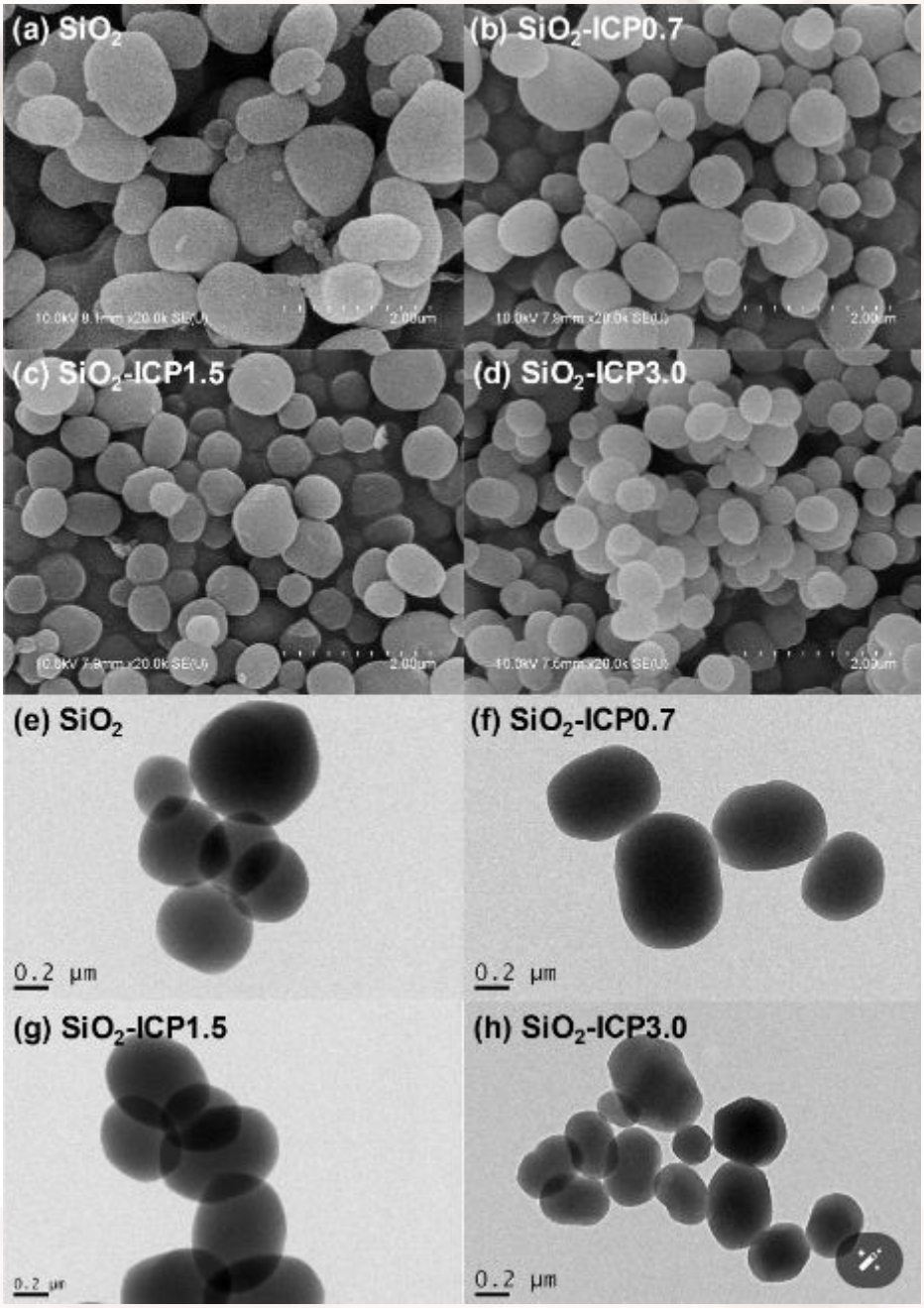
الاصطدامات الداخلية. يتم تسمية الحاويات بملصقات مقاومة للماء والتلف على الحاويات لتوضيح معلومات العينة الأساسية، مثل رقم العينة، تاريخ الجمع، الموقع الجغرافي، وأي ملاحظات تتعلق بظروف الجمع. هذا يساعد في تتبع العينات بسهولة ويمنع الخلط بينها. مع التعقيم والنظافة على الرغم من أن العينات الحجرية لا تتطلب تعقيمًا صارمًا مثل العينات البيولوجية، إلا أن الحفاظ على نظافة الحاويات يعد أمرًا مهمًا لتجنب التلوث بمواد أخرى قد تؤثر على نتائج التحليل. أما التخزين فيتم تأمين الحاويات في مكان مستقر بيئيًا، بعيدًا عن التقلبات الحادة في درجات الحرارة والرطوبة. هذا يضمن أن خصائص العينات لا تتغير بسبب الظروف البيئية، مما يعزز من دقة النتائج التحليلية. هذه الإجراءات تضمن أن العينات تصل إلى المختبر في أفضل حالة ممكنة، مما يعزز دقة التحليلات وصحة الاستنتاجات العلمية.

ج. تحليل العينات: وتتمثل في مجموعة من الخطوات القياسية في تحليل العينات الجيولوجية، وهي تشمل تحضير العينات وتقييمها باستخدام تقنيات مختلفة للحصول على معلومات دقيقة حول تركيبها المعدني. حيث يتم التحضير بتنظيف العينات الحجرية جيدًا لإزالة أي شوائب أو ملوثات قد تؤثر على نتائج التحليل. يشمل التحضير عادة غسل العينات بالماء المقطر، وربما باستخدام فرشاة لإزالة الجزيئات الدقيقة. بعد ذلك، تُجفف العينات وتُحضر للتقطيع إلى شرائح رقيقة إذا لزم الأمر، ثم نقوم بمجموعة من التحاليل المتمثلة في:

- الفحص البتروغرافي: يتم استخدام المجهر البتروغرافي لفحص الشرائح الرقيقة من العينات. هذه الطريقة تسمح بتحليل التركيب المعدني والنسيج الداخلي للصخور. من خلال هذا التحليل، يمكن تحديد محتوى الكوارتز (السيليكا البلورية) وغيره من المعادن، مما يوفر معلومات قيمة حول الخصائص الجيولوجية للعينة[26].

- تحليل XRD (حيود الأشعة السينية): تحليل XRD يستخدم لتحديد البنية البلورية للمعادن الموجودة في العينة. يعمل على مبدأ إرسال شعاع من الأشعة السينية نحو العينة وقياس الأنماط التي تُنتج عندما تتفاعل الأشعة مع الذرات في العينة[27]. هذه الأنماط تساعد في التعرف على المعادن بناءً على طريقة ترتيب الذرات داخل البلورات. حيث أن كل نوع من أنواع السيليكا البلورية له بنية بلورية فريدة تؤثر على خصائصه الفيزيائية والكيميائية[28]. فيما يلي شرح مفصل للبنية البلورية لكل من أنواع السيليكا البلورية الرئيسية بدايتا بالكوارتز(صورة 6)، ببنيته البلورية السداسية، الذي يُشكّل جزءًا أساسيًا من الحجارة الرملية نظرًا لمقاومته العالية للتآكل والتجوية، هذه الصخور تحتوي على نسب عالية من الكوارتز الذي يُعزز من صلابتها وقدرتها على مقاومة العوامل الخارجية[29]. في الصخور الجيرية والرخامية، يظهر الكوارتز بكميات قليلة كمعادن ثانوية أو شوائب. أما الجرانيت، فيحتوي بشكل عام على نسبة كبيرة من الكوارتز إلى جانب الفلسبار والميكا، مما يجعله من الصخور المفضلة لمتانتها وجمالها[30]. والكريستوباليت (صورة 7) له بنية

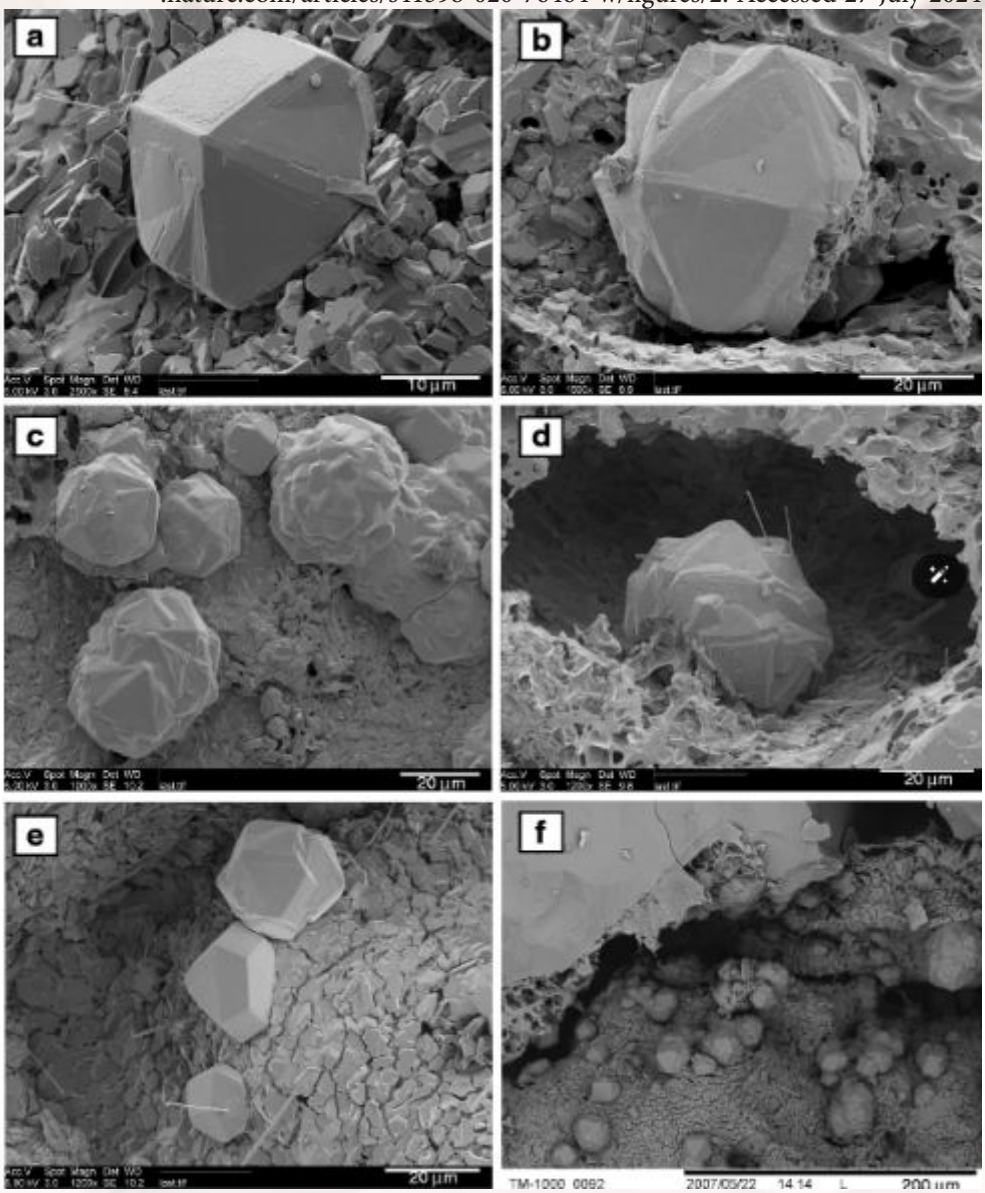
بلورية تتحول بين التتراجونال (tetragonal) عند درجات حرارة عالية والمكعب (cubic) عند البرودة. مثل الكوارتز، يتألف من ثنائيات SiO_2، لكن ترتيب الذرات يختلف، مما يؤدي إلى خصائص فيزيائية مختلفة وزيادة في الخطورة عند استنشاقه[31]. الكريستوباليت نادر في الحجارة الرملية لأن تكوينه يتطلب حرارة شديدة، وغير موجود تقريبًا في الصخور الجيرية والرخامية التي تتكون أساسًا من الكربونات. يمكن أن يتشكل في الجرانيت فقط تحت ظروف حرارية عالية مثل التعرض للنشاط البركاني أو في العمليات الصناعية[32]. والتريديميت (صورة 8) له بنية مماثلة للكريستوباليت ويمكن أن يتواجد بأشكال بلورية تتراوح بين المكعب والسداسي. يتشكل عند درجات حرارة أعلى مقارنة بالكريستوباليت ولديه ترتيب مشابه للسيليكا في بنية رباعي السطوح مع ترتيب مختلف قليلاً يؤثر على استقراره الحراري والكيميائي[33]. التريديميت نادر في الحجارة الرملية نظرًا لمتطلباته الحرارية العالية وغير موجود طبيعيًا في الصخور الجيرية أو الرخامية، ولكن قد يتواجد في الجرانيت المتحول الذي تعرض لدرجات حرارة مرتفعة، رغم ندرة هذه الظروف[34]. والأوبال (صورة 9) ليس له بنية بلورية دقيقة مثل الأشكال الأخرى للسيليكا وغالبا ما يصنف على أنه أمورف (غير بلوري). يحتوي الأوبال على جزيئات ماء بين طبقات السيليكا، مما يجعله أقل صلابة وأقل خطورة من حيث المخاطر الصحية مقارنة بالأشكال البلورية الأخرى. كل من هذه الأشكال له خصائص فريدة تؤثر على استخداماتها الصناعية والتجارية بالإضافة إلى الاحتياطات الصحية اللازمة عند التعامل معها[35]. يُعد نادر الوجود في الصخور الجيرية والرخامية بسبب غناها بالكالسيوم، لكنه قد يتواجد في الفراغات بين حبيبات الرمل في الحجارة الرملية، خاصة في البيئات الغنية بالماء والسيليكا. في الجرانيت، يمكن أن يوجد الأوبال في الشقوق حيث تترسب السيليكا من المحاليل المائية[36].



الصـورة6: صـور (SEM[37] و TEM[38] لجزيئـات SiO2 النانويـة وفقًـا لتركيـز ICP[39]). المصـدر:

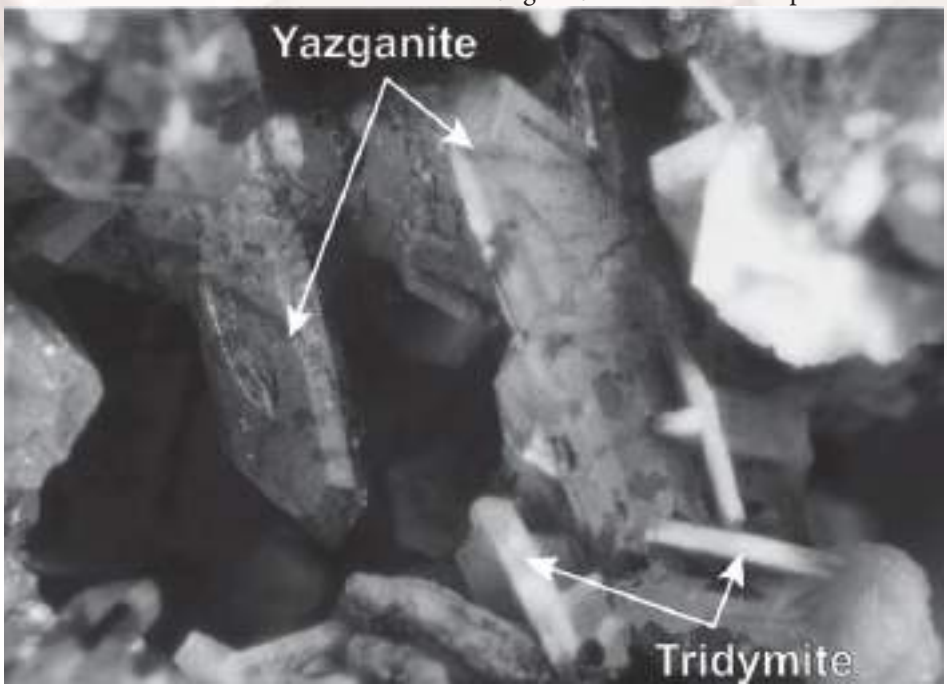
Choi, Mansoo, Wang-Kyu Choi, Chong-Hun Jung, and Seon-Byeong Kim. "The surface modification and characterization of SiO2 nanoparticles for higher foam stability." Scien-

tific Reports, vol. 10, Article number: 19399, Springer Nature, 10 Nov. 2020, https://www.
.nature.com/articles/s41598-020-76464-w/figures/2. Accessed 27 July 2024

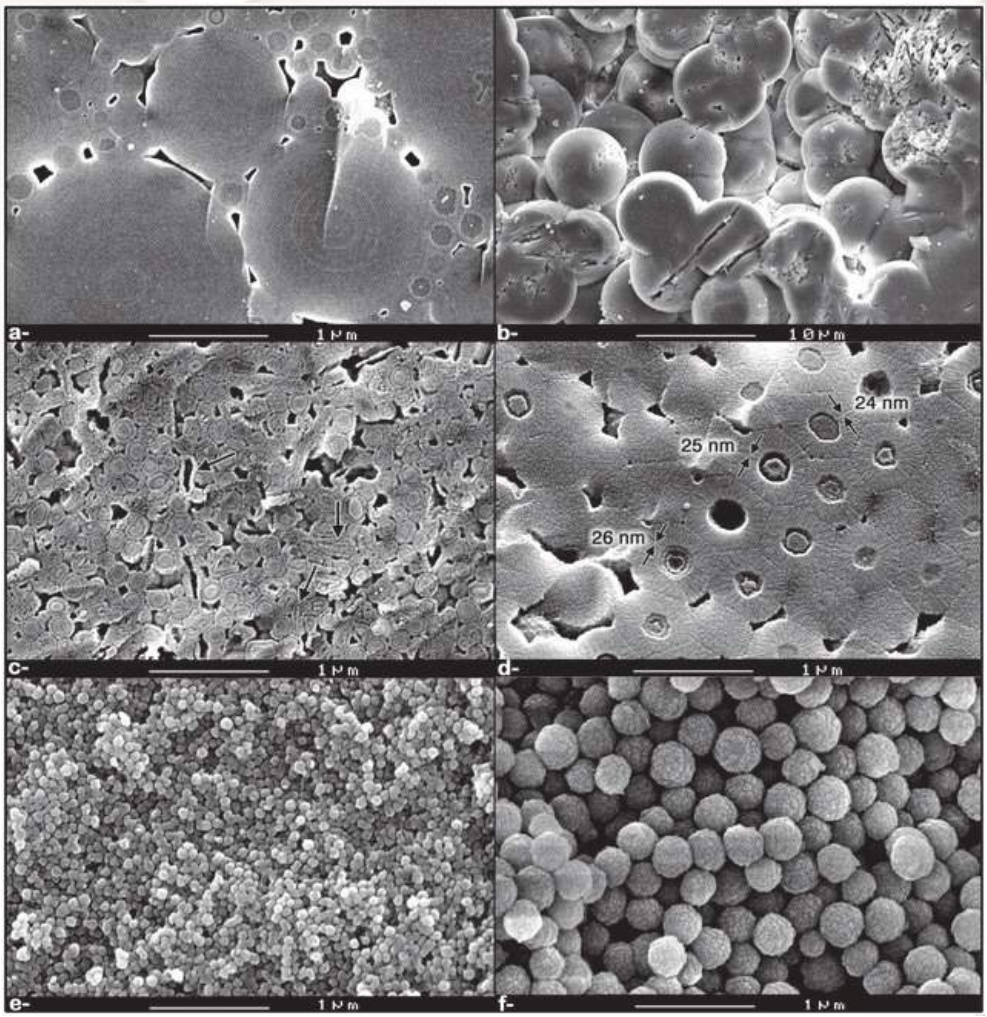


الصـورة7: صـور ميكروغرافيـة بالمجهـر الإلكـتروني الماسـح للكريسـتوباليت العمـودي في قطـع خشـنة مـن صخـرة. المصـدر: Horwell, C.J., Williamson, B.J., Llewellin, E.W. et al. The nature and formation of cristobalite at the Soufrière Hills volcano, Montserrat: implications for the petrology and stability of silicic lava domes. Bull Volcanol 75, 696 (2013). https://doi.

org/10.1007/s00445-013-0696-3 - https://link.springer.com/article/10.1007/s00445-013-0696-3/figures/3. Accessed 27 September 2024.



الصورة رقم8: معادن اليازغانيت والتريديميت تحت المجهر ثنائي العدسة. المصدر: Karaman, Mehmet, et al. "Cassiterite/Tin Mineralization Related with Erciyes Volcanic Activities and the Mode of Formation of the Hematite-Cassiterite-Yazganite-Tridymite Paragenesis and its Implication for Bronze Alloys." ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/303516480_CassiteriteTin_Mineralization_Related_with_Erciyes_Volcanic_Activities_and_the_Mode_of_Formation_of_the_Hematite-Cassiterite-Yazganite-Tridymite_Paragenesis_and_its_Implication_for_Bronze_Alloys/figures. Accessed 27 July 2024.



الصـورة9: صـور بالمجهـر الإلكـتروني الماسـح (30,000×) لعينـات أوبـال . المصـدر: Graetsch, Horst A., et al. "Common Gem Opal: An Investigation of Micro- to Nano-Structure." ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/228662767_Common_Gem_Opal_An_Investigation_of_Micro-_to_Nano-Structure/figures?lo=1. Accessed 27 July 2024.

مـن خـلال مـا سـبق نسـتخلص ترتيـب الحجـارة من خـلال نسـب أنـواع السـيليكا البلوريـة، حيث أن الحجـارة الرمليـة تحتـوي عـلى نسـب عاليـة مـن الكوارتـز بسـبب مقاومتـه العاليـة للتـآكل والتجويـة. الأوبـال قـد يوجـد كترسـبات في الفراغـات بـين الحبيبـات. وأن الجرانيـت يحتـوي عـلى نسـبة كبـيرة مـن الكوارتـز، بالإضافـة إلى الفلسـبار والميـكا. الكريسـتوباليت والتريديميـت قـد يتواجـدان في الجرانيـت المتحـول تحـت ظـروف حراريـة عاليـة. وأن الصخـور الجيريـة والرخاميـة تحتـوي عـلى كميـات قليلـة

من الكوارتز كمعادن ثانوية أو شوائب. نادرة الوجود فيها الكريستوباليت والتريديميت بسبب تكوينها الكربوني. ومنه يمكن الجزم أن نسبة الإصابة بأمراض تنفسية كالتهابات الشعب التنفسية، السيليكوز والأورام السرطانية الرئوية، تختلف على اختلاف نوع الصخور في المحاجر، وهذا ما يجلنا نصنف محاجر الحجارة الرملية الأكثر خطورة على العمال، تليها مقالع حجارة الجرانيت، ومن ثم مقالع الرخام والحجارة الجيرية. مما يعني أن نسبة الخطورة بين المحاجر تقاس بنوع الحجارة المستخرجة، بينما اذا كانت هناك عملية مقارنة بين مقالع من نفس نوع الحجارة فيتم تقييم ذلك من خلال القيام بتحليل بالاشعة السينية الفلورية.

- تحليل XRF (الأشعة السينية الفلورية): نلجئ دائما في تحديد نسبة خطورة المحجرة على صحة العمال من خلال تحليل الأشعة السينية الفلورية للعينات، وهذا بالنظر إلى اختلاف نسبة السيليكا البلورية (SiO2) بين الحجارة الرملية (على سبيل المثال) في حد ذاتها، الذي يرجع إلى عدة عوامل جيولوجية وبيئية، ومن أبرز هذه العوامل مصدر الرواسب، حيث تختلف نسبة السيليكا بحسب المصدر الأصلي للرواسب. فالحجارة الرملية المشتقة من صخور غنية بالسيليكا، مثل الجرانيت أو الكوارتزيت، تحتوي على نسبة أعلى من السيليكا مقارنة بالحجارة الرملية المشتقة من صخور فقيرة السيليكا([40]). وعملية الترسيب حيث تؤثر بيئة الترسيب (مثل الأنهار، الصحاري، البحار) على نسبة السيليكا. البيئات التي تشهد ترسيبًا سريعًا قد تحافظ على نسبة أعلى من السيليكا البلورية([41]). وعمر الصخرة حيث أن الصخور الأقدم عادة ما تخضع لتحولات جيولوجية أكثر، والتي يمكن أن تؤدي إلى زيادة أو نقصان نسبة السيليكا([42]). وكذا التغيرات الكيميائية والفيزيائية لأن التغيرات التي تحدث للصخور أثناء عمليات الدفن والتحجر، بما في ذلك التفاعلات الكيميائية مع المياه الجوفية، يمكن أن تؤثر على محتوى السيليكا([43]).

بالتالي، لا توجد نسبة ثابتة للسيليكا البلورية في الحجارة الرملية، بل تتفاوت بحسب الظروف الجيولوجية والتاريخية لتكوينها . وهذه يعني حتى المحاجر من نفس نوع الحجارة متفاوتة الخطورة . هنا نقوم بتحليل XRF الذي يستخدم لتحديد التركيب الكيميائي للعينة. حيث يتم إطلاق أشعة سينية على العينة، مما يسبب انبعاث فوتونات بطاقات محددة تعتمد على العناصر الموجودة في العينة. هذه الطاقات تُقاس وتُحلل لتحديد نسب العناصر، مثل السيليكا بدقة([44]). بعد تحليل العينات لمحجرتين جيريتين من منطقتين مختلفتين كالشلف وسوق أهراس، نقوم بمقارنة النتائج لمعرفة أي من المحجرتين العمل بها أخطر من الأخرى من جهة، ومن جهة أخرى نقوم بتقييم خطورة المحجرتين وفق مقاييس قمنا بإنجازها تتمثل في الجداول (4-1). حتى الآن يمكننا الوصول من خلال تحليل نسبة السيليكا البلورية في الصخور المختلفة وتوافر المياه للرش ووسائل الوقاية التقليدية، يمكننا تقدير مدى الخطورة الصحية. وتصنيف المحاجر بناءً على نسبة السيليكا. يظهر أن محاجر الحجارة الرملية الأكثر خطورة، تليها محاجر الجرانيت، ثم محاجر الرخام والحجارة الجيرية. توفر المياه للرش واستخدام الأقمشة الواقية يقللان من الخطورة، ولكن التدابير غير الكافية كانت تزيد من معاناة العمال في الماضي. لذلك، فإن هذه التحاليل الفيزيائية والكيميائية ضرورية لفهم الأوضاع الصحية وانتشار مرض السيليكوز داخل المحاجر.

مناقشة النتائج:

تحليل آلية مرض السيليكوز يكشف عن العلاقة الوثيقة بين استنشاق جسيمات السيليكا البلورية وتطور المرض. وجد أن هذه الجسيمات، عند استنشاقها، تصل إلى الأكياس الهوائية في الرئتين وتقاوم الهضم بواسطة الخلايا البلعمية الكبيرة. هذا يؤدي إلى التهاب وتندب في أنسجة الرئة، مما يقلل من مرونتها ويسبب أعراضًا مثل السعال المستمر وضيق التنفس. يمكن أن تتفاقم الحالة إلى فشل الجهاز التنفسي والوفاة في الحالات المتقدمة. هذه الآلية تفسر بشكل واضح سبب انتشار السيليكوز بين العمال الذين يتعرضون لغبار السيليكا بشكل متكرر. ومنه كمية السيليكا في أنواع الصخور المختلفة تلعب دورًا محوريًا في تحديد خطر الإصابة بالسيليكوز بين عمال المحاجر. الحجر الرملي، الذي يحتوي على نسبة عالية من السيليكا تتراوح بين 25% إلى 75%، يعتبر الأكثر خطورة على صحة العمال، حيث تشير الدراسات إلى أن نسبة انتشار السيليكوز بين عمال محاجر الحجر الرملي يمكن أن تصل إلى 72%. الجرانيت يحتوي على نسبة متوسطة من السيليكا تتراوح بين 20% إلى 60%، ما يجعله أيضًا محفوفًا بالمخاطر، حيث تصل نسبة انتشار السيليكوز بين عمال محاجره إلى 32.7% بعد خمس سنوات من التعرض. من ناحية أخرى، تحتوي الصخور الجيرية على كميات أقل من السيليكا، تتراوح بين 10% إلى 30%، مما يجعل خطر الإصابة بالسيليكوز أقل، ولكنه لا يزال موجودًا خاصة في ظل ظروف عمل غير مناسبة أو عدم استخدام معدات الوقاية الشخصية بشكل كاف مثل الفترة القديمة. هذه النتائج توضح أن نوع الصخر ومستوى التعرض لغبار السيليكا هما العاملان الرئيسيان في تحديد مدى خطورة الإصابة بالسيليكوز بين العمال المحاجر الرومانية. كما أن تشخيص ذلك في هياكل عظمية رومانية يتطلب استخدام منهجيات متعددة ومتخصصة. يمكن الكشف عن علامات المرض من خلال تحليل العظام الطويلة والأضلاع والعمود الفقري. تظهر هذه التحاليل علامات مثل هشاشة العظام والكسور الناتجة عن ضيق التنفس المزمن والتهابات مزمنة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن للتحليل الكيميائي للعظام، مثل تحليل النظائر المستقرة، أن يكشف عن أنماط غذائية وأمراض مزمنة. الفحص المجهري للعظام يمكن أن يظهر ترسبات السيليكا الصغيرة، وهي دليل قوي على وجود تليف رئوي مزمن. من الأهمية بمكان أيضًا النظر في وجود أمراض متزامنة، مثل السل، التي قد تكون قد تفاقمت بسبب مشاكل الرئة. هذا النهج يساعد الباحثين على فهم الظروف الصحية للعمال الرومانيين وتأثير العمل في المحاجر على صحتهم. كما يمكن أيضا فهم الأوضاع الصحية في المحاجر الرومانية من خلال دراسة المحاجر وهو أمر يتطلب دراسة دقيقة للعينات الحجرية من هذه المحاجر. من خلال جمع العينات وتحليلها باستخدام تقنيات مثل الفحص البتروغرافي وتحليل XRD وXRF، يمكن تحديد نسب السيليكا البلورية في الصخور. هذه النسب تساعد في تقييم خطورة المحاجر على صحة العمال. تشير النتائج إلى أن محاجر الحجر الرملي هي الأكثر خطورة بسبب نسب السيليكا العالية، تليها محاجر الجرانيت، ثم الرخام والحجر الجيري. كما أن الدراسات السابقة تظهر تفاوتًا في نسب السيليكا بين الحجارة من نفس النوع، مما يدل على أن حتى المحاجر التي تستخرج

نفس نوع الصخور يمكن أن تختلف في خطورتها الصحية على العمال. و هذا يجعل حليل XRF يلعب دورًا مهمًا في تحديد التركيب الكيميائي للعينة وتقييم خطورتها. يساعد هذا التحليل في تحديد نسبة السيليكا البلورية بدقة، مما يسمح بتقييم مدى خطورة المحجرة. حيث أن تصنيفنا للمحاجر بناءً على نسب السيليكا البلورية فيها يظهر أن المحاجر التي تحتوي على نسب عالية من السيليكا تتطلب تدابير حماية صارمة للعمال. بينما المحاجر ذات النسب الأقل تعتبر أقل خطورة. ومع ذلك، توفر المياه للرش واستخدام الأقمشة الواقية يمكن أن يقلل من الخطورة، وهو ما كان ينقص في المحاجر الرومانية. وفي النهاية نرى أن السيليكا البلورية تلعب دور جد في مهم في الأبحاث الأثرية لمعرفة أوضاع الاجتماعية والاقتصادية في الفترة الرومانية القديمة وغيرها من الحضارات الأخرى.

الفئة	نسبة السيليكا البلورية	وصف	نسبة الخطورة عند توفر الماء للرش والأقمشة الواقية التقليدية
منخفضة الخطورة	أقل من 10 %	تحتوي المحاجر على نسبة منخفضة جدًا من السيليكا البلورية، مما يجعلها أكثر عرضة للتآكل وأقل خطورة على العمال.	منخفضة جدا
متوسطة الخطورة	10 % - 20 %	تحتوي المحاجر على نسبة متوسطة من السيليكا البلورية، مما يعطيها توازنًا بين الصلابة والتآكل.	منخفضة
عالية الخطورة	20 % - 30 %	تحتوي المحاجر على نسبة عالية من السيليكا البلورية، مما يجعلها أكثر مقاومة للتآكل والصلابة، وزيادة خطورة على العمال.	متوسطة
شديدة الخطورة	أكثر من 30 %	تحتوي المحاجر على نسبة سيليكا بلورية مرتفعة جدًا، مما يجعلها من أكثر الأنواع مقاومة وذات صلابة عالية، وزيادة كبيرة في الخطورة على العمال.	عالية

الجدول)1): تصنيف محاجر الحجارة الجيرية بناءً على نسبة السيليكا البلورية.

نسبة الخطورة عند توفر الماء للرش والأقمشة الواقية التقليدية	وصف	نسبة السيليكا البلورية	الفئة
منخفضة	تحتوي المحاجر على نسبة منخفضة من السيليكا البلورية، مما يجعلها أقل خطورة على العمال.	أقل من 25%	منخفضة الخطورة
متوسطة	تحتوي المحاجر على نسبة متوسطة من السيليكا البلورية، مما يتطلب تدابير حماية معتدلة.	25 % - 50 %	متوسطة الخطورة
عالية	تحتوي المحاجر على نسبة عالية من السيليكا البلورية، مما يجعلها خطرة وتتطلب تدابير حماية صارمة.	50 % - 75 %	عالية الخطورة
عالية جدا	تحتوي المحاجر على نسبة سيليكا بلورية مرتفعة جدًا، مما يجعلها ذات خطورة عالية جدًا على العمال.	أكثر من 57%	شديدة الخطورة

الجدول(2): تصنيف محاجر الحجارة الرملية بناءً على نسبة السيليكا البلورية.

نسبة الخطورة عند توفر الماء للرش والأقمشة الواقية التقليدية	وصف	نسبة السيليكا البلورية	الفئة
منخفضة	تحتوي المحاجر على نسبة منخفضة من السيليكا البلورية، مما يجعلها أقل خطورة على العمال.	أقل من 20 %	منخفضة الخطورة
متوسطة	تحتوي المحاجر على نسبة متوسطة من السيليكا البلورية، مما يتطلب تدابير حماية معتدلة.	20 % - 40 %	متوسطة الخطورة
عالية	تحتوي المحاجر على نسبة عالية من السيليكا البلورية، مما يجعلها خطرة وتتطلب تدابير حماية صارمة.	40 % - 60 %	عالية الخطورة
عالية جدا	تحتوي المحاجر على نسبة سيليكا بلورية مرتفعة جدًا، مما يجعلها ذات خطورة عالية جدًا على العمال.	أكثر من 60 %	شديدة الخطورة

الجدول(3): تصنيف محاجر الجرانيت بناءً على نسبة السيليكا البلورية.

نسبة الخطورة عند توفر الماء للرش والأقمشة الواقية التقليدية	وصف	نسبة السيليكا البلورية	الفئة
منخفضة جدا	تحتوي المحاجر على نسبة منخفضة جدًا من السيليكا البلورية، مما يجعلها أقل خطورة على العمال.	أقل من 5%	منخفضة الخطورة
منخفضة	تحتوي المحاجر على نسبة متوسطة من السيليكا البلورية، مما يتطلب تدابير حماية معتدلة.	5% - 15 %	متوسطة الخطورة
متوسطة	تحتوي المحاجر على نسبة عالية من السيليكا البلورية، مما يجعلها خطرة وتتطلب تدابير حماية صارمة.	51% - 52%	عالية الخطورة
عالية	تحتوي المحاجر على نسبة سيليكا بلورية مرتفعة جدًا، مما يجعلها ذات خطورة عالية جدًا على العمال.	أكثر من 52%	شديدة الخطورة

الجدول(4): تصنيف محاجر الرخام بناءً على نسبة السيليكا البلورية.

Endnotes:

(1) **Roberts, C. A., & Buikstra, J. E.** (2003). The Bioarchaeology of Tuberculosis: A Global View on a Reemerging Disease. University Press of Florida, 1st edition, pp. 120-130.

(2) **David, R. (1999).** The Pyramid Builders of Ancient Egypt: A Modern Investigation of Pharaoh's Workforce. Routledge, 1st edition, pp. 98-110.

(3) **Capasso, L., & D'Anastasio, R.** (2001). "Paleopathology of the People of Herculaneum." International Journal of Osteoarchaeology, Vol. 11, No. 3, pp. 143-155

(4) **Roberts, C. A., & Buikstra, J. E.** Op. cit, pp. 156-168.

(5) **Domergue, C. (1990).** Les Mines de la Péninsule Ibérique dans l'Antiquité Romaine. Ecole Française de Rome, pp. 213-220.

- Jackson, R. (1988). Doctors and Diseases in the Roman Empire. British Museum Publications, pp. 145-150.

- Fiema, Z. T. (2002). "Roman Quarrying and Stone Use in the Petra Region". Studia Petraea, Vol. 4, pp. 45-52**.**

- Weisgerber, G. (2000). The Ancient Mines of Rudna Glava. Archaeopress, pp. 87-95.

(6) **Pliny the Elder**. Natural History. Translated by H. Rackham, W.H.S. Jones, and D.E. Eichholz, Harvard University Press, 1938-1963. Attalus, [http://www.attalus.org/info/pliny_hn.html] (http://www.attalus.org/info/pliny_hn.html) . Accessed 24 July 2024.

(7) **Strabo**. Geographica. Translated by H.L. Jones, Harvard University Press, 1917-1932. The Perseus Digital Library, [https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Strabo/home.html] (https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Strabo/home.html). Accessed 24 July 2024.

(8) **Vitruvius**. *De Architectura*. Edited by Frank Granger. Loeb Classical Library, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1931-1934. pp.75.

(9) **Silicosis.NHS**, 2024, https://www.nhs.uk. Accessed 23 July 2024

(10) **Cleveland Clinic.** Silicosis: Causes, Symptoms, Diagnosis & Treatment.", 2024, https://my.clevelandclinic.org. Accessed 23 July 2024.

(11) **Verywell Health.** Silicosis: Symptoms, Treatment and More, 2024(https://www.verywellhealth.com). Accessed 23 July 2024.

(12) **American Lung Association .**Learn About Silicosis, 2024, https://www.lung.org. Accessed 23 July 2024

(13) **Symptoms and Medical Monitoring** | Silica .CDC , 2024, https://www.cdc.gov. Accessed 23 July 2024

(14) **Cleveland Clinic.** "Silicosis: Causes, Symptoms, Diagnosis & Treatment." *Cleveland Clinic*, 2024, https://my.clevelandclinic.org. Accessed 23 July 2024

(15) **American Lung Association. "**Learn About Silicosis." *American Lung Association*, 2024, https://www.lung.org. Accessed 23 July 2024.

(16)**Verywell Health**. "Silicosis: Symptoms, Treatment and More." *Verywell Health*, 2024, https://www.verywellhealth.com. Accessed 23 July 2024

(17) **CDC. "**Symptoms and Medical Monitoring | Silica." *Centers for Disease Control and Prevention*, 2024, https://www.cdc.gov. Accessed 23 July 2024

(18) **Yadav, S.P., Anand, P.K., and Singh, H**. "Awareness and Practices about Silicosis among the Sandstone Quarry Workers in Desert Ecology of Jodhpur, Rajasthan, India." *SpringerLink*, 2013, https://link.springer.com. Accessed 23 July 2024.

(19) **Ghotkar, V.B., Maldhure, B.R., and Zodpey, S.P**. "Involvement of Lung and Lung Function Tests in Stone Quarry Workers." *Indian Journal of Tuberculosis*, vol. 42, 1995, pp. 155-160

(20) **Leigh, J., Macaskill, P., Kuosma, E., and Mandryk, J**. "Global Burden of Disease and Injury Due to Occupational Factors." *Epidemiology*, vol. 10, 1991, pp. 626-631.

(21) **Roberts, C. A., & Manchester, K.** The Archaeology of Disease**,** Cornell University Press, 3th edition, 2007. Pp 154-163.

(22) **Prowse, T.L., et al**. "Health Consequences of Inhalation of Asbestos Fibers by Ancient Romans." *Journal of Archaeological Science*, vol. 31, no. 4, 2004, pp. 475.

(23) **Ibid,** P.482.
Roberts, C. A., & Manchester, K., Op. cit, P169.

(24) **Prowse, T.L., et al**. Op. cit, pp. 478.

(25) **Roberts, C. A., & Manchester, K.** Op. cit, pp. 177.

(26) **Tucker, Maurice E**. *Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*. Blackwell Science, 2001. Pp. 1-10. Archive.org, https://archive.org/details/sedimentarypetro0000tuck .

Accessed 27 September 2023.

(27) **Van Grieken, René, and Andrzej Markowicz**. *Handbook of X-ray Spectrometry*. 2nd ed., Marcel Dekker, Inc., 2002. pp.1-20.

(28) **International Agency for Research on Cancer (IARC).** "Silica Dust, Crystalline, in the Form of Quartz or Cristobalite." IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, vol. 100C, 2012, pp. 355-405, https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-14.pdf . Accessed 27 July 2024.

(29) **Heaney, Peter J**. "Structure and Chemistry of the Low-pressure Silica Polymorphs." *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, vol. 29, no. 1, 1994, pp. 1-40.

(30) **Heaney, Peter J.** Op, cit, pp. 39.

(31) International Agency for Research on Cancer (IARC). Op. cit., pp. 355-405.

(32) **Heaney, Peter J.** Op. cit., pp1-40.

(33) American Lung Association. "Learn About Silicosis." American Lung Association, 2023, https://www.lung.org/lung-health-diseases/lung-disease-lookup/silicosis . Accessed 27 July 2024.

(34) **Heaney, Peter J.** Op. cit., pp1-40.

(35) **Mineralogical Society of America**. "Opal." Mineralogy Database, 2020, http://www.minsocam.org/msa/Mineral.html . Accessed 27 July 2024.

(36) **Heaney, Peter J**. Op. cit., pp1-40.

-Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. (2013). *An Introduction to the Rock-Forming Minerals* (3rd ed.). Mineralogical Society. (pp. 703-709).

-Domergue, C. (1990). *Les Mines de la Péninsule Ibérique dans l'Antiquité Romaine*. Ecole Française de Rome. (pp. 213-220).

(37) **المجهـر الإلكتـرون الماسـح -SEM (Scanning Electron Microscopy)**: تقنيـة تسـتخدم الإلكترونـات بـدلاً مـن الضـوء لإنشـاء صـورة مفصلـة للسـطح. يُظهـر SEM التفاصيـل السـطحية للعينـة بدقـة عاليـة، ممـا يسـاعد فـي تقييـم البنيـة السـطحية وتكويـن الجزيئـات النانويـة.

(38) مجهـر الإلكتـرون النافـذ: TEM (Transmission Electron Microscopy) هـذه التقنيـة تسـتخدم أيضًـا الإلكترونـات، لكنهـا تنقـل عبـر العينـة، ممـا يوفـر صـورًا بدقـة أعلـى للتركيـب الداخلـي للمـواد. TEM مفيـدة لملاحظـة البنيـة الداخليـة للجزيئـات النانويـة، بمـا فـي ذلـك الشـكل، الحجـم، والتوزيـع الداخلـي.

(39) ICP يشـير عـادة إلـى تقنيـة «البلازمـا المقترنـة بالحـث» (Inductively Coupled Plasma)، وهـي طريقـة تُسـتخدم لتحليـل التركيـزات الكيميائيـة للعناصـر فـي عينـات مختلفـة. فـي السـياق الـذي

ذكرته، يُحتمل أن «تركيز ICP» يشير إلى تحديد تركيزات عناصر معينة داخل جزيئات SiO2 النانوية باستخدام هذه التقنية. في تحليل ICP، يتم تحويل العينة إلى بلازما عن طريق تسخينها إلى درجات حرارة عالية جدًا باستخدام مصدر طاقة بالحث. هذه البلازما تُثير الذرات الموجودة في العينة، مما يؤدي إلى إصدارها لفوتونات بطول موجات محدد يمكن قياسه لتحديد التركيزات الكمية للعناصر المختلفة داخل العينة. هذه التقنية تُستخدم على نطاق واسع في مجالات مثل الكيمياء البيئية، علوم المواد، والأبحاث الجيولوجية لتحليل التركيب الكيميائي بدقة عالية. لتفاصيل أكثر اطلع على (Thermo Fisher Scientific. «Inductively Coupled Plasma (ICP) Techniques Explained.» Thermo Fisher Scientific, 2018. https://www.thermofisher.com/blog/mining/inductively-coupled-plasma-icp-techniques-explained/. Accessed 27 July 2024.)

(40) Boggs, Sam Jr. Principles of Sedimentology and Stratigraphy. 5th ed., Pearson, 2014, p. 251. / Folk, Robert L. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing, 1980, p. 102.

(41) Blatt, Harvey, and Robert J. Tracy. Petrology: Igneous, Sedimentary, and Metamorphic. 3rd ed., W.H. Freeman, 2006, pp. 329, 335.

(42) Tucker, Maurice E. Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks. 3rd ed., Blackwell Science, 2001, p. 178.

(43) Blatt, Harvey, and Robert J. Tracy. Op. cit,. pp.335.

(44) Van Grieken, René, and Andrzej Markowicz. Op. cit., pp.1-20.

المراجع البيبليوغرافية:

بالانجليزية :

(1) American Lung Association. *Learn About Silicosis.* 2024. Retrieved from https://www.lung.org/lung-health-diseases/lung-disease-lookup/silicosis.

(2) Asp, A. *Smokey quartz crystals in granite.* Fotocommunity. (n.d.). Retrieved July 24, 2024, from https://www.fotocommunity.com/photo/smokey-quartz-crystals-in-granite-anna-asp/23516606.

(3) Blatt, H., & Tracy, R. J. *Petrology: Igneous, Sedimentary, and Metamorphic.* 3rd ed. W.H. Freeman, 2006, pp. 329, 335.

(4) Boggs, S., Jr. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy.* 5th ed. Pearson, 2014, p. 251.

(5) Capasso, L., & D'Anastasio, R. *Paleopathology of the People of Herculaneum. International Journal of Osteoarchaeology,* vol. 11, no. 3, 2001, pp. 143-155.

(6) CDC. *Symptoms and Medical Monitoring | Silica.* Centers for Disease Control and Prevention. 2024. Retrieved from https://www.cdc.gov/niosh/topics/silica/symptoms.html.

(7) Choi, Mansoo, Wang-Kyu Choi, Chong-Hun Jung, and Seon-Byeong Kim. *The surface modification and characterization of SiO2 nanoparticles for higher foam stability. Scientific Reports,* vol. 10, Article number: 19399, Springer Nature, 2020. Accessed July 27, 2024, from https://www.nature.com/articles/s41598-020-76464-w.

(8) Cleveland Clinic. *Silicosis: Causes, Symptoms, Diagnosis & Treatment.* 2024. Retrieved from https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/17766-silicosis.

(9) David, R. *The Pyramid Builders of Ancient Egypt: A Modern Investigation of Pharaoh's Workforce.* Routledge, 1999, pp. 98-110.

(10) Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals.* 3rd ed. Mineralogical Society, 2013, pp. 703-709.

(11) Domergue, C. *Les Mines de la Péninsule Ibérique dans l'Antiquité Romaine.* Ecole Française de Rome, 1990, pp. 213-220.

(12) Fiema, Z. T. *Roman Quarrying and Stone Use in the Petra Region. Studia Petraea,* vol. 4, 2002, pp. 45-52.

(13) Folk, R. L. *Petrology of Sedimentary Rocks.* Hemphill Publishing, 1980, p. 102.

(14) Gernand, J. M., et al. *Biological Response and Morphological Assessment of Individually Dispersed Multi-Wall Carbon Nanotubes in the Lung After Intratracheal Instillation in Rats.* ResearchGate. 2010. Retrieved July 24, 2024, from https://www.researchgate.net/publication/45582658_Biological_response_and_morphological_assessment_of_individually_dispersed_multi-wall_carbon_nanotubes_in_the_lung_after_intratracheal_instillation_in_rats/figures.

(15) Ghotkar, V. B., Maldhure, B. R., & Zodpey, S. P. *Involvement of Lung and Lung Function Tests in Stone Quarry Workers. Indian Journal of Tuberculosis,* vol. 42, 1995, pp. 155-160.

(16) Graetsch, Horst A., et al. *Common Gem Opal: An Investigation of Micro- to Nano-Structure.* ResearchGate. Accessed July 27, 2024, from https://www.researchgate.net/publication/228662767_Common_Gem_Opal_An_Investigation_of_Micro-_to_Nano-Structure.

(17) Heaney, P. J. *Structure and Chemistry of the Low-pressure Silica Polymorphs. Reviews in Mineralogy and Geochemistry,* vol. 29, no. 1, 1994, pp. 1-40.

(18) Horwell, C. J., Williamson, B. J., Llewellin, E. W., et al. *The nature and formation of cristobalite at the Soufrière Hills volcano, Montserrat: Implications for the petrology and stability of silicic lava domes. Bulletin of Volcanology,* vol. 75, 2013. Retrieved September 27, 2024, from https://link.springer.com/article/10.1007/s00445-013-0696-3.

(19) International Agency for Research on Cancer (IARC). *Silica Dust, Crystalline, in the Form of Quartz or Cristobalite.* IARC Monographs on the Evaluation of

Carcinogenic Risks to Humans, vol. 100C, 2012, pp. 355-405. Retrieved from https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-14.pdf.

(20) Jackson, R. *Doctors and Diseases in the Roman Empire.* British Museum Publications, 1988, pp. 145-150.

(21) Karaman, M., Yazgan, E., Kekeliya, N. A., Imamverdiyev, N., & Romanko, A. *Cassiterite/tin mineralization related with Erciyes volcanic activities and the mode of formation of the hematite-cassiterite-yazganite-tridymite paragenesis and its implication for bronze alloys.* Brepols, 2015, pp. 183-193.

(22) Learning Radiology. *Silicosis.* (n.d.). Retrieved July 24, 2024, from http://www.learningradiology.com/notes/chestnotes/silicosis.htm.

(23) Leigh, J., Macaskill, P., Kuosma, E., & Mandryk, J. *Global Burden of Disease and Injury Due to Occupational Factors. Epidemiology,* vol. 10, 1991, pp. 626-631.

(24) Mineralogical Society of America. *Opal.* Mineralogy Database, 2020. Retrieved from http://www.minsocam.org/msa/Mineral.html.

(25) O'Donoghue, M. *Gemstones.* 2nd ed. Chapman and Hall, 1997, pp. 156-163.

(26) Pliny the Elder. *Natural History.* Translated by H. Rackham, W.H.S. Jones, & D.E. Eichholz. Harvard University Press, 1938–1963. Retrieved from http://www.attalus.org/info/pliny_hn.html.

(27) Prowse, T. L., et al. *Health Consequences of Inhalation of Asbestos Fibers by Ancient Romans. Journal of Archaeological Science,* vol. 31, no. 4, 2004, pp. 475-482.

(28) Roberts, C. A., & Buikstra, J. E. *The Bioarchaeology of Tuberculosis: A Global View on a Reemerging Disease.* University Press of Florida, 2003, pp. 120-130.

(29) Roberts, C. A., & Cox, M. *Health and Disease in Britain: From Prehistory to the Present Day.* Sutton Publishing, 2003, pp. 156-168.

(30) Roberts, C. A., & Manchester, K. *The Archaeology of Disease.* 3rd ed. Cornell University Press, 2007, pp. 154-177.

(31) Strabo. *Geographica.* Harvard University Press, 1917-1932.

(32) Tucker, M. E. *Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks.* 3rd ed. Blackwell Science, 2001, pp. 1-10.

(33) Van Grieken, R., & Markowicz, A. *Handbook of X-ray Spectrometry.* 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., 2002, pp. 1-20.

(34) Vitruvius. *De Architectura.* Harvard University Press, 1931-1934, pp. 74-75.

(45) Yadav, S. P., Anand, P. K., & Singh, H. *Awareness and practices about silicosis among the sandstone quarry workers in desert ecology of Jodhpur, Rajasthan, India. Journal of Human Ecology,* vol. 33, no. 3, 2011, pp. 191-196. Retrieved from https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=20209.