جيولوجية إقليم البتراء

د. هاني محيسن النوافلة

جامعة الحسين بن طلال/كلية الهندسة – قسم هندسة التعدين والمعادن

جيولوجية إقليم البتراء

د. هاني محيسن النوافلة
جامعة الحسين بن طلال/كلية الهندسة – قسم هندسة التعدين والمعادن
ص.ب. 20 معان – الأردن
hanialnawafleh@ahu.edu.jo

تقديم

يعدّ إقليم البتراء من المناطق ذات الأهمية الكبرى على المستويين المحلي والعالمي. ولهذا الإقليم ميزة جيولوجية وجمالية باهرة لاحتضانه مدينة البتراء الأثرية التي تعتبر إرثاً عالمياً فريداً من نوعه وأعجوبة من عجائب الدنيا السبع. تهدف هذه الدراسة التي تمت بناءً على المشاهدات الميدانية والعمل الحقلي وجمع المعلومات المتوفرة إلى تسليط الضوء على جيولوجية إقليم البتراء. تم تسجيل العديد من التراكيب والمظاهر الجيولوجية. يتميز الإقليم بتنوع في الوحدات الصخرية المنتشرة به حيث تغطي صخور الكريتاسي العلوي معظم مناطقه. يسود في الإقليم العديد من التراكيب الجيولوجية أهمها الطيات والصدوع والفواصل. إنّ وجود المنحدرات الحادة، الصدو ع والصخور المتصدعة، إضافة إلى سرعة جريان السيول في فصل الشتاء كل ذلك يؤدي إلى حدوث الفيضانات وحركات الكتل الصخرية كالانزلاقات الأرضية وسقوط الصخور من المناطق المرتفعة.

الكلمات الدالة: إقليم البتراء، وادي موسى، محيط التيثس، معقد العربة، الحجر الرملي، رمل الكرنب، الحجر الجيري، الكريتاسي العلوي، رسوبيات الأودية، الفيضانات.

ص.ب. 20 معان – الأردن
hanialnawafleh@ahu.edu.jo

تقديم

يعدّ إقليم البتراء من المناطق ذات الأهمية الكبرى على المستويين المحلي والعالمي. ولهذا الإقليم ميزة جيولوجية وجمالية باهرة لاحتضانه مدينة البتراء الأثرية التي تعتبر إرثاً عالمياً فريداً من نوعه وأعجوبة من عجائب الدنيا السبع. تهدف هذه الدراسة التي تمت بناءً على المشاهدات الميدانية والعمل الحقلي وجمع المعلومات المتوفرة إلى تسليط الضوء على جيولوجية إقليم البتراء. تم تسجيل العديد من التراكيب والمظاهر الجيولوجية. يتميز الإقليم بتنوع في الوحدات الصخرية المنتشرة به حيث تغطي صخور الكريتاسي العلوي معظم مناطقه. يسود في الإقليم العديد من التراكيب الجيولوجية أهمها الطيات والصدوع والفواصل. إنّ وجود المنحدرات الحادة، الصدوع والصخور المتصدعة، إضافة إلى سرعة جريان السيول في فصل الشتاء كل ذلك يؤدي إلى حدوث الفيضانات وحركات الكتل الصخرية كالانزلاقات الأرضية وسقوط الصخور من المناطق المرتفعة.

الكلمات الدالة: إقليم البتراء، وادي موسى، محيط التيش، معقد العربة، الحجر الرملي، رمل الكرنب، الحجر الجيري، الكريتاسي العلوي، رسوبيات الأودية، الفيضانات.

The Geology of Petra Region

Dr Hani M. Alnawafleh
Al-Hussein Bin Talal University, Department of Mining and Mineral Engineering
P.O.Box 20, Ma'an, Jordan
email: hanialnawafleh@ahu.edu.jo

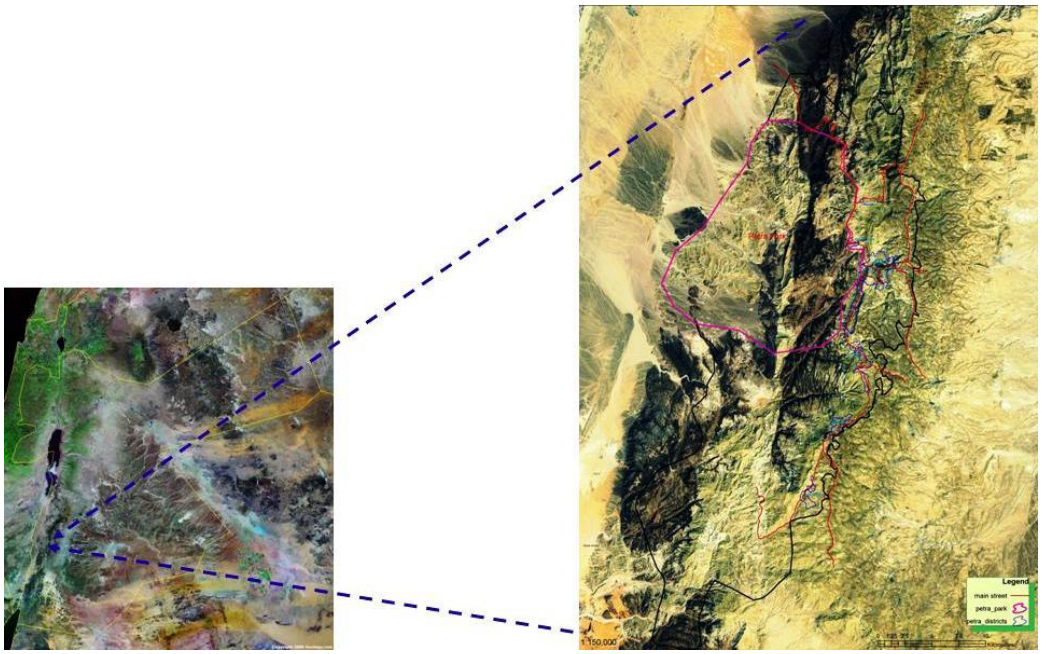
Abstract

Petra Region is of great importance both locally and globally. The region is geologically impressive. The uniqueness of this region is partially due to part of the region, i.e., the ancient city of Petra, which is globally unique as it is one of the world's new seven wonders. This study, which is based on field work and data collection and analysis, aims to shed light on the geology of Petra Region. Different geologic phenomena and geologic structures were identified. Various rock units span several geologic ages, from Precambrian to Holocene. Upper Cretaceous rocks are widely distributed. The common geologic structures are folds, faults and joints. The steep slopes, cracks and fractured rocks, in addition to the high speed water flow during winter result in floods and rock mass movements such as rock falls from highland areas.

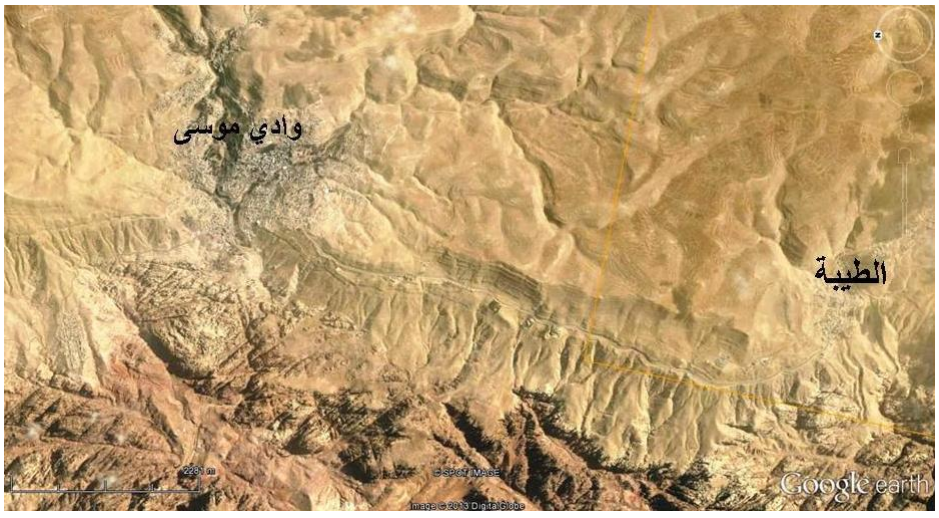
Keywords: Wadi Musa, Tethys Ocean, Basement complex, Kurnub Sandstone, upper Cretaceous, Wadi Sediments, floods, rock falls.

1. مقدمة (Introduction)

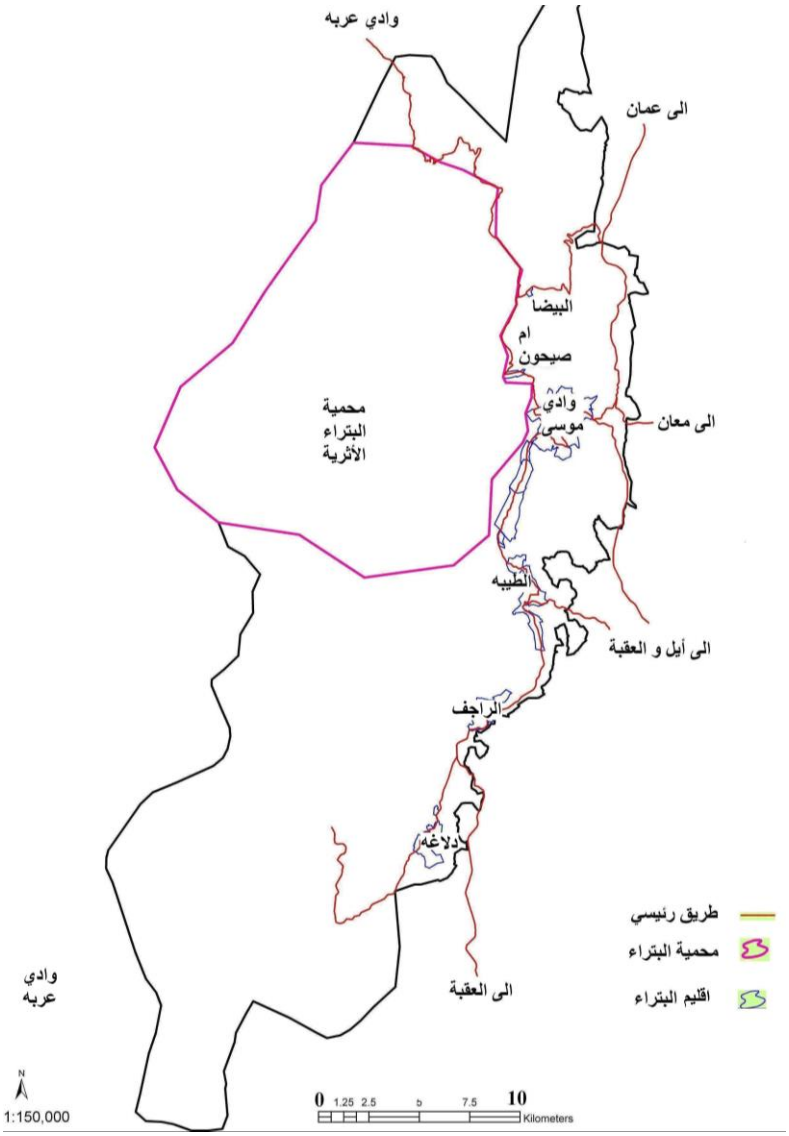
يقع إقليم البتراء على امتداد سلسلة جبال الشراة (شكل 1) في جنوب الأردن، المطلة على وادي عربة وطبيعتها الجغرافية المنحدرة والمحاطة بالجبال ضمن مساحة تقارب 900 كم^2 [1]. يضم إقليم البتراء العديد من القرى والتجمعات السكنية أهمها وادي موسى والطيبة (شكل 2). أما حدود الإقليم الجغرافية فيوضحها الشكل 3.



شكل (1): موقع إقليم البتراء على امتداد سلسلة جبال الشراه [1].



شكل (2): صورة جوية تبين أهم مناطق إقليم البتراء؛ وادي موسى والطيبة [2].



شكل (3): الحدود الجغرافية لإقليم البتراء وأبرز مناطقه. معدلة من [3].

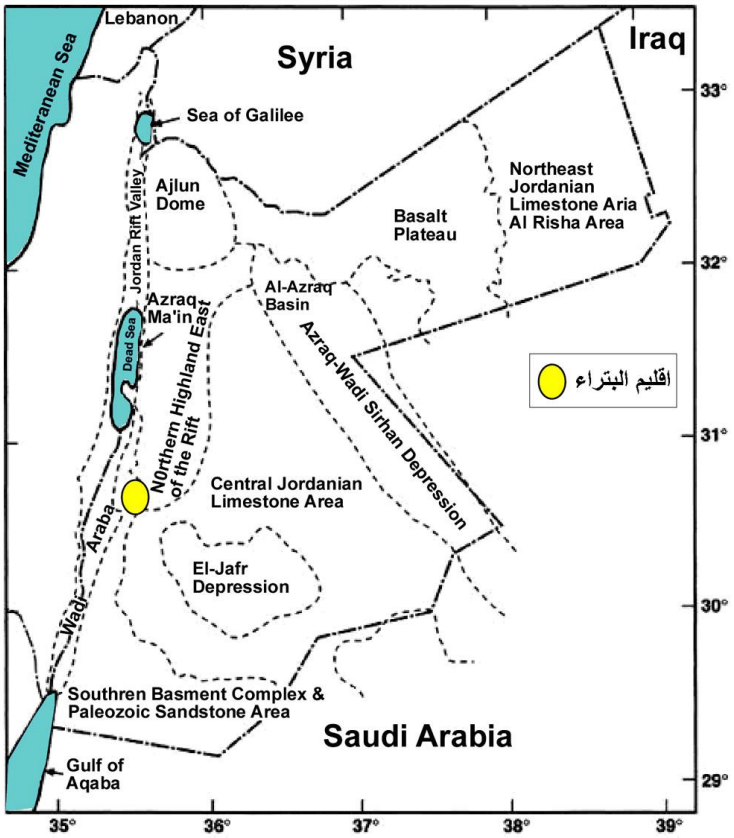
إنّ أهم ما يميز إقليم البتراء وجود المدينة الأثرية المعروفة بالبتراء، التي تقع على خط طول 37.35 شرقاً، وخط عرض 19.30 شمالاً [1]، في موقع متوسط بين طرق التجارة الرئيسة الواصلة من مصر وشبة الجزيرة العربية جنوباً إلى دمشق شمالاً ومن الخليج العربي شرقًا إلى سواحل البحر المتوسط غرباً. تحتوي البتراء على العديد من المواقع الأثرية التي نحتت معظمها في الصخور الرملية من العصرين الكامبري والأردوفيشي. هذا ويعود اختيار الأنباط لهذا

الموقع إلى حصانته، التي حددتها جيولوجية وطبيعة المكان. هذه الحضارة امتدت إلى منطقة وادي موسى، التي فيها نبع عين موسى الذي كان يغذي المنطقة بمياهه الجوفية [1].

يعدّ إقليم البتراء جنة بالنسبة للباحثين الجيولوجيين لما يتميز به هذا الإقليم من جمالية في التراكيب والتنوع الصخري، وهذا سبب رئيس في جعل الإقليم ضمن موقع متميز على خريطة السياحة الجيولوجية. ولما لهذا الموضوع من الأهمية، فقد هدفت هذه الدراسة بشكل رئيس إلى تسليط الضوء على جيولوجية إقليم البتراء. وقد تم إنجاز هذا الهدف من خلال مراجعة الدراسات السابقة وجمع المعلومات المتوفرة إضافة الى المشاهدات الميدانية والعمل الحقلي من قبل الباحث.

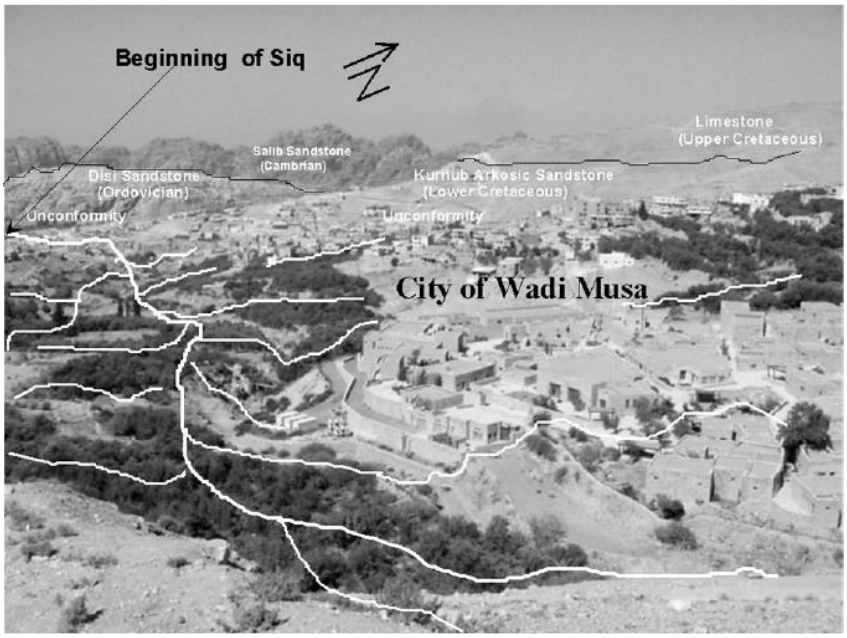
2. الجيومورفولوجيا والمناخ (Geomorphology & Climate)

إنّ طبوغرافية إقليم البتراء متنوعة في الارتفاع من حوالي 600 م فوق سطح البحر إلى أكثر من 1500 م فوق سطح البحر. وحسب تقسيمات العالم بندر [4] لأقاليم الأردن الجيومورفولوجية (شكل 4)، فإنّ جزءاً كبيراً من الإقليم يقع ضمن المرتفعات شرق الانهدام وهي عبارة عن سلاسل جبلية ضيقة ممتدة شمال جنوب تعرف باسم جبال الشراة.



شكل (4): موقع إقليم البتراء حسب تقسيم بندر للأقاليم الجغرافية. معدلة من [4].

إنّ الحافة الشرقية للإقليم تبدي ميلاً لطيفاً بينما تبدي الحافة الغربية ميلان حاداً بسبب عمليات الرفع الأرضية التي حدثت على طول انهدام وادي عربة – البحر الميت [5]. أما بالنسبة للأودية، فلها ميلان لطيف نحو الشرق وحاد نحو الغرب وتجري فيها المياه في فصل الشتاء. يسود في المنطقة نظام التصريف الشجري [6] حيث تحكمت به الأنواع الصخرية السائدة والنظام الجيولوجي التركيبي السائد. ونتيجة لذلك النظام التركيبي تكونت العديد من الينابيع في المنطقة [5].

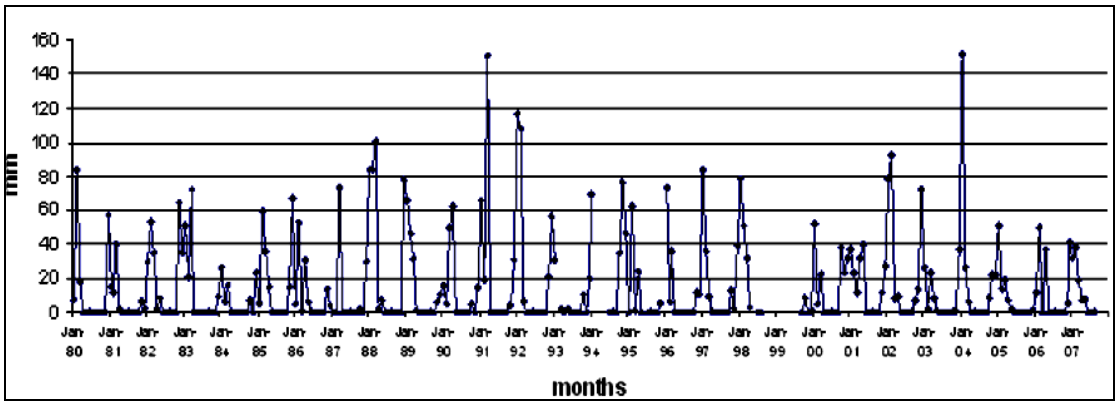


شكل (5): نظام التصريف المائي الشجري في مدينة وادي موسى [6].

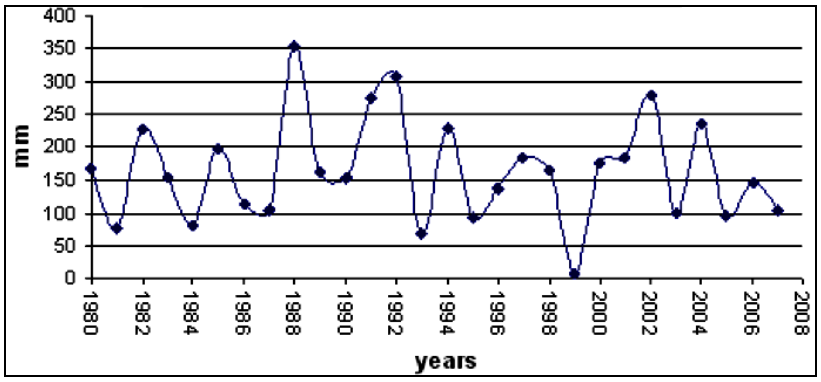
يسود مناطق إقليم البتراء مناخ البحر الأبيض المتوسط الذي يمتاز بموسم ماطر نسبياً من تشرين الثاني ولغاية نيسان وطقس جاف في الجزء المتبقي من السنة. أما بالنسبة لدرجات الحرارة، فقد زادت عن معدلاتها الطبيعية خصوصاً في فصل الصيف وإنّ أعلى درجة حرارة سجلت هذا العام بلغت نحو 40 درجة سيليسيوس. تصل كميات الهطول إلى حوالي 200 ملم في السنة ويغلب سقوط الثلوج في الأشهر من كانون الأول لغاية آذار (شكل 6). إما توزيع الأمطار خلال الفترة الأخيرة، فيبدي تغيراً ملحوظاً حسب ما يوضحه كل من شكل (7) و شكل (8).

إنّ مناخ المنطقة وبيئتها قد شهدت تغيراً واضحاً عبر التاريخ، وهذا ما أكدته نتائج دراسة كوكي [7] في منطقة جبل هارون. اما الظروف الجوية السائدة قديما (في نهاية البلايستوسين) فكانت أكثر ملائمة للسكان من الظروف السائدة الآن[8].

شكل (6): تراكم الثلوج فوق مرتفعات الإقليم في شتاء 2009.



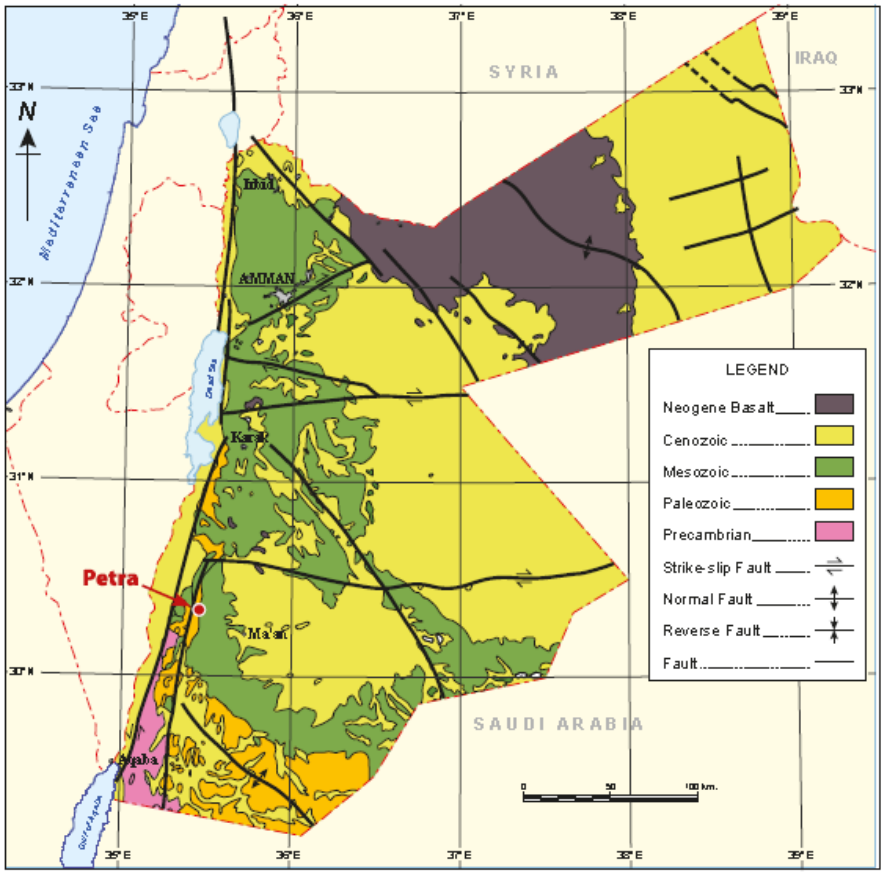
شكل (7): توزيع كمية الأمطار الشهرية من 1980 حتى 2007 في منطقة وادي موسى [6].



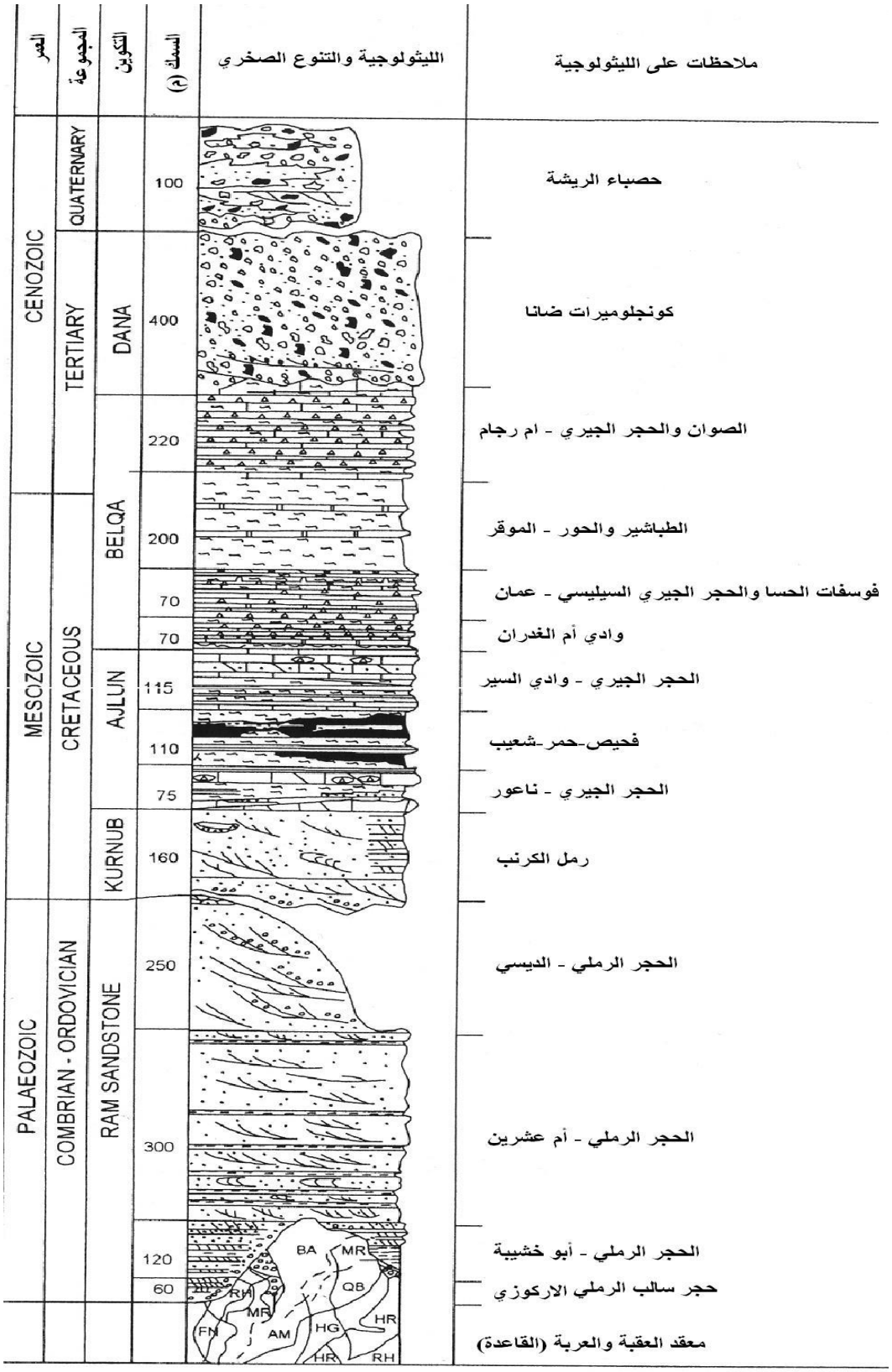
شكل (8): توزيع كمية الأمطار السنوية من 1980 حتى 2007 في منطقة وادي موسى [6].

3. التتابع الطبقي والتكاوين الصخرية (Litho-stratigraphy)

يتكشف في إقليم البتراء أنواع مختلفة من الصخور والتتابعات الصخرية والتي تتراوح في أعمارها الجيولوجية من ما قبل الكامبري (أكثر من 600 مليون سنة) حتى الآن (شكل 9). أما طباقية الصخور ومعالم التجوية السائدة في الإقليم فيمثلها الشكل (10).



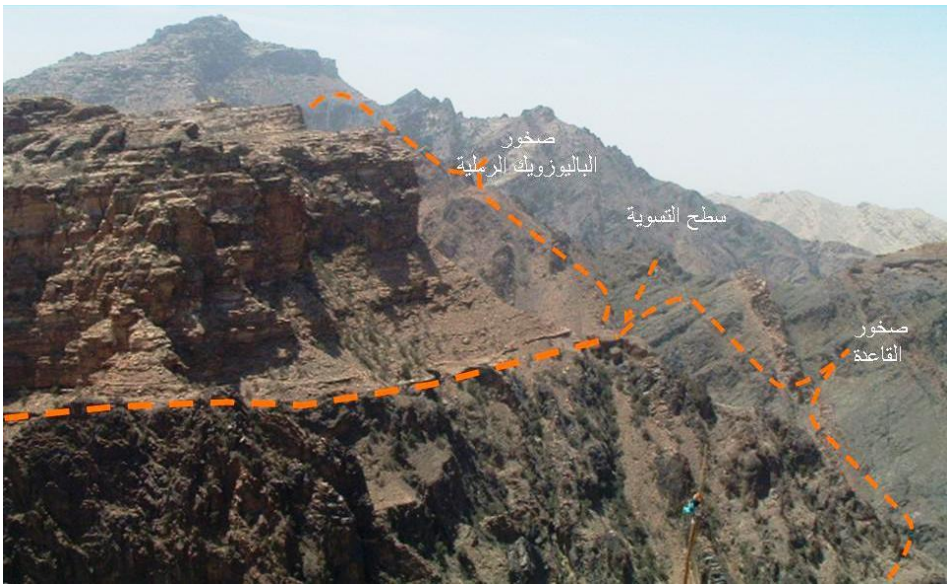
شكل (9): جيولوجية الأردن حيث تتكسف صخور الحقب المختلفة في إقليم البتراء [9].



شكل (10): طباقية الصخور ومعالم التجوية في إقليم البتراء. الشكل معدل من [10].

3. 1 صخور القاعد النارية (Basement Complex)

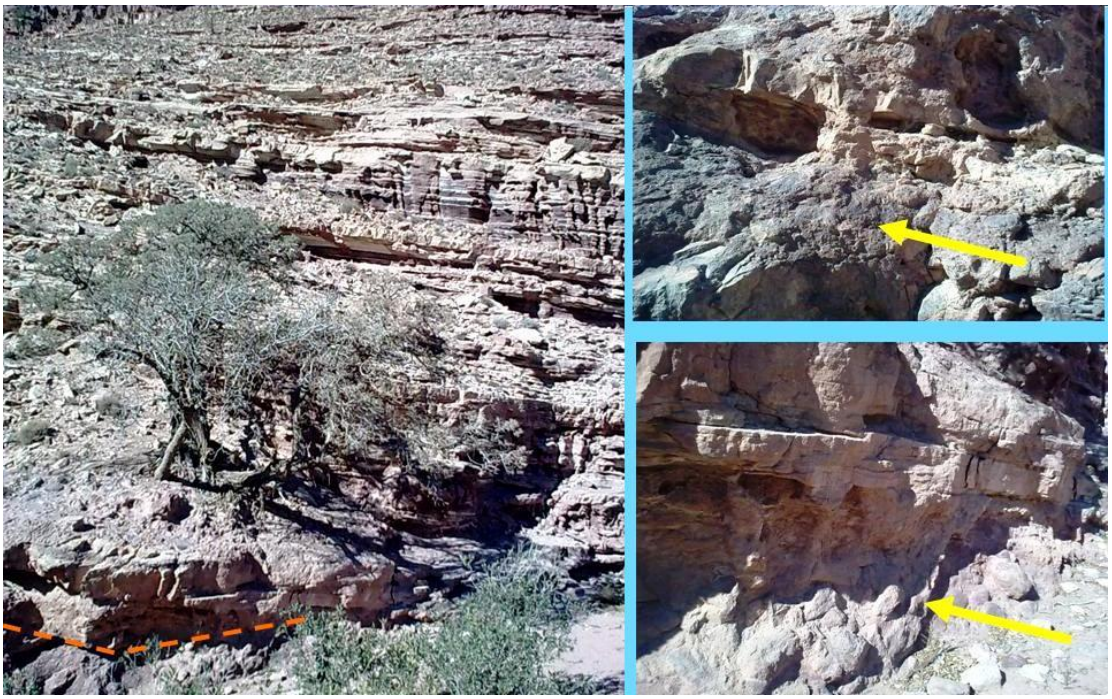
تشتمل صخور القاعدة على صخور الجرانيت التي تكونت بعد الحركة البانية الإفريقية تعدّ جزءاً من معقد العقبة العربة (شكل 10، 11، 12)، وتمثل الجزء الشمالي للدرع العربي النوبي، ويعلوها بعدم توافق صخور الحياة الظاهرة (شكل 13) والتي تشوهت بفعل النشاط التكتوني المصاحب لصدع البحر الميت الانتقالي [المصادر:11 ، 12 ، 13 و 14]. حيث إنّ ابرز المناطق التي تتكشف فيها هذه الصخور هو الجزء الجنوبي الغربي من الإقليم. يفصل صخور القاعدة النارية عن الصخور الرسوبية التي تعلوها ما يعرف بسطح التسوية (شكل 11) حيث ترسب كونجلوميرات الأساس في المناطق المنخفضة (شكل 14).



شكل (11): صخور القاعدة تعلوها صخور حقبة الحياة القديمة غرب منطقة الدير في مدينة البتراء.

شكل (12): اندفاع بركاني ضمن صخور الحجر الرملي 15 كم شمال البتراء.

شكل (13): تكشفات صخور دهر الحياة الظاهرة غرب قرية الراجف.



شكل (14): رواهص (كونجلوميرات) الأساس 15 كم شمال مدينة البتراء.

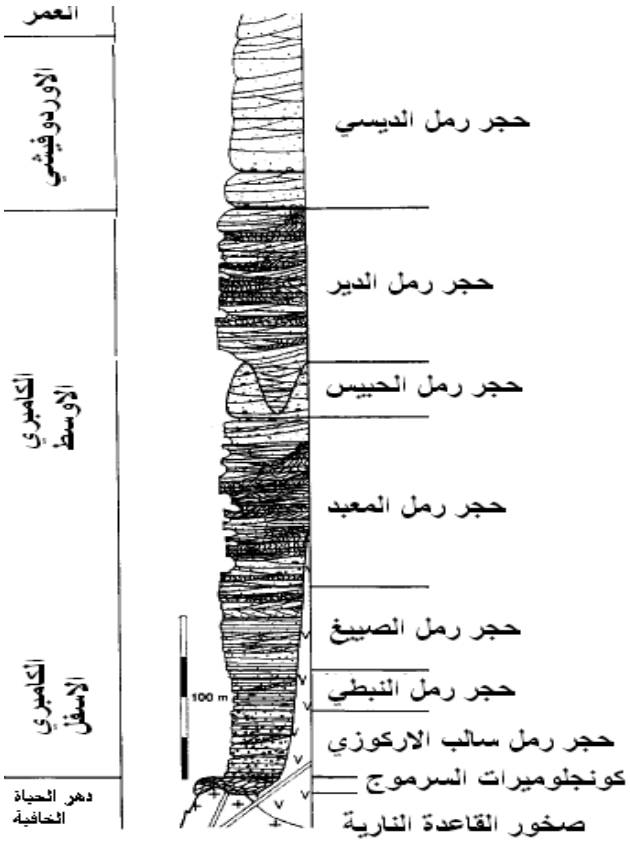
3. 2 صخور حقبة الحياة القديمة الباليوزويك (Paleozoic Rocks)

تكوين أم عشرين وتكوين الديسي :

يوضح الشكل (15) طباقية صخور الباليوزويك في الإقليم. إنّ أبرز التكوينات الصخرية المميزة هو تكوين أم عشرين من العصر الكامبري الأعلى وهو عبارة عن الحجر الرملي الكتلي بني التجوية (شكل 16). ما يميز صخور مدينة البتراء الوردية التنوع المعدني في تشكل المعادن بسبب الأكسدة لذا تظهر الصخور الحمراء والصفراء وغيرها من الألوان بسبب الأكسدة والتفاعل مع المياه الجارية. تظهر في هذا التكوين الهام تطبقات على شكل حلقات أو مراوح كنتيجة لاختلاف أنظمة التلون.

يعلو تكوين أم عشرين الحجر الرملي الكتلي أبيض التجوية من العصر الأوردوفيشي الأسفل والمعروف بتكوين الديسي (شكل 17)، حيث يتكشف في الأجزاء الشرقية والشمالية الشرقية من مدينة البتراء ويمتد تكشفه حتى شمال البيضاء والمعروفة بالبتراء الصغيرة (شكل 18). أما بالنسبة للبيئة الترسيبية فالدلائل واضحة على أنّها بيئة الانهار المتشعبة (Braided Rivers) التي سادت في تلك الفترة (شكل 19). تعاني هذه الصخور من ظواهر التجوية وأنواع عديدة منها (مثال شكل 20 و شكل 21)، وهذه العمليات تعتبر من المصادر الطبيعية التي تهدد الإرث الحضاري من معالم مختلفة في مدينة البتراء ومنطقة البتراء الصغيرة (البيضا) أيضاً. إنّ أهم ما كتب عن التجوية في مدينة البتراء وتدهور الأسطح الخارجية والداخلية للمباني داخل مدينة البتراء يمكن الحصول عليه من خلال مقالات العالم الأمريكي برادايس (مثال: المصادر15 و 16). وقد أثبت هذا العالم أنّ كساداً يحدث لأسطح الغرف الداخلية في بعض المعالم الهامة كالخزنة مثلاً نتيجة لارتفاع نسبة الرطوبة الناتجة عن تنفس الزوار أضافة إلى لمسهم أو جلوسهم

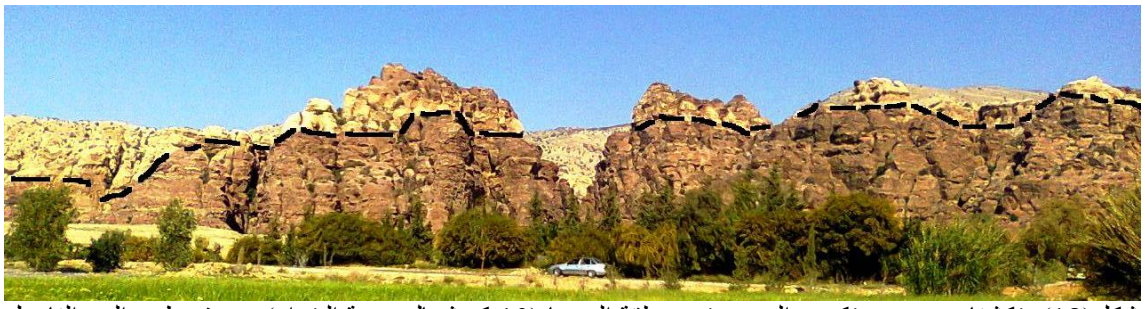
للراحة [17]. ومن أبرز أنواع التجوية في صخور البتراء الرملية هي التجوية الملحية [18]. و لمزيد من المعلومات عن صخور حقبة الحياة القديمة في الإقليم يمكن الرجوع إلى [19].



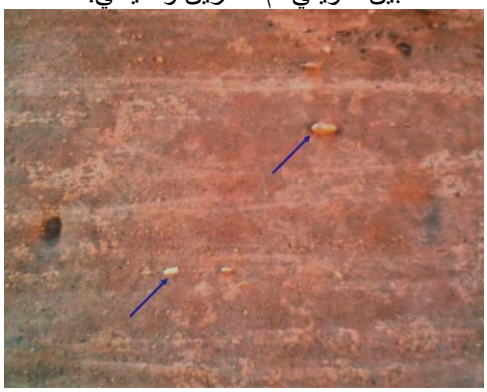
شكل (15): طباقية صخور الباليوزويك في إقليم البتراء. الشكل معدل من [20].

شكل(16): تكشف صخري ضمن تكوين أم عشرين الرملي من العصر الكامبري في مدينة البتراء.

شكل (17): تكشف صخور تكوين الديسي الرملي من العصر الأوردوفيشي في مدخل مدينة البتراء الذي يتميز بالأشكال القبيبة.



شكل(18): تكشفات صخور تكوين الديسي في منطقة البيضا (10 كم شمال مدينة البتراء)، حيث يظهر الحد الفاصل بين تكويني أم عشرين والديسي.



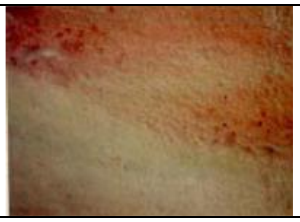
شكل (19): بعض آثار العمليات النهرية (حصباء مستديرة) ضمن تكوين الديسي في مدخل مدينة البتراء.

شكل (20): آثار عمليات التجوية في صخور تكوين الديسي المتكشفة غرب قرية الطيبة.

شكل(21): آثار عمليات التجوية في صخور الديسي شمال البتراء (منطقة البيضا).

هذا وقد رصد الباحث العديد من مظاهر التعرية وتدهور الصخور في العديد من مناطق الإقليم. إضافة إلى ذلك فقد عملت محمية البتراء الأثرية على حصر أبرز و أهم مظاهر التعرية والتدهور في مدينة البتراء الأثرية استناداً إلى عدة مراجع أهمها [21 ، 22 و 23] ويوضحها الجدول (1 و 2).

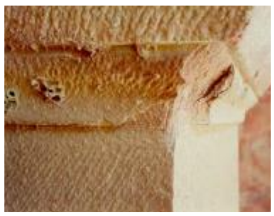
جدول (1): أبرز مظاهر التعرية والتدهور في مدينة البتراء الأثرية [3].

الوصف	الظاهرة	الوصف	الظاهرة
انفصال أجزاء من سطح الصخر على شكل قشور رقيقة وهشة		تآكل سطح الصخر على شكل حبيبات صغيرة نتيجة تبلور الاملاح	

انفصال على شكل طبقات		انفصال رقائق منبسطة من سطح الصخر	
فجوات صغيرة على سطح الصخر نتيجة عدم التجانس		حجارة غير ثابتة في البناء	
فقدان أجزاء من الصخر بسبب ضغوط ميكانيكية او التخريب المتعمد		فجوات خلايا قرص النحل	
تآكل وفقدان مادة الصخر بشكل موازي لسطح الصخر		تكسر قطع من الصخر نتيجة التعرية الطبيعية	
قشرة صلبة عل سطح الصخر نتيجة الترسبات		ترسب الأملاح على سطح الصخر	
التلف الذي تسببه الكائنات المجهرية		القشور الصلبة تتميز بكونها ملحية	

جدول (2): تابع أبرز مظاهر التعرية والتدهور في مدينة البتراء الاثرية [3].

الوصف	الظاهرة	الوصف	الظاهرة

التجمعات الحشرية في زوايا الحجارة		نموالنباتات في الشقوق	
كتابات أو مخربشات		مخلفات الطيور على سطح الصخر	
طبقة سوداء من بقايا التلوث		تراكم الغبار أو التراب لفترات طويلة	
تشققات أو فواصل جيولوجية		شق في الصخر بسبب عوامل التعرية الفيزيائية	
منشئآت غير مستقرة		صدع أو فالق جيولوجي	
انفصال القصارة		جدار متساقط	
مونة ملوثة بنمو كائنات حيوية		تفكك المونة	

3. 3 صخور حقبة الحياة المتوسطة (Mesozoic Rocks)

مجموعة الكرنب الرملية من الكريتاسي السفلي (Kurnub Sandstone):

عبارة عن مجموعة صخرية تتكشف في الأجزاء الغربية من الإقليم (شكل 22). تتكون بصورة أساسية من الحجر الرملي الفتاتي الخشن إلى متوسط الخشونة متعدد الألوان، وتكوينه في مناطق الإقليم يعود إلى أصل نهري [24].

شكل (22): منظر عام (نحو الشمال) يظهر تكشفات الطباشيري السفلي شمال غرب وادي موسى.

التكاوين الصخرية من الكريتاسي (الطباشيري) العلوي:

خلال الكريتاسي العلوي كان محيط التيثس (Tethys Ocean) يغمر مناطق الإقليم بحيث سادت البيئات البحرية التي أوجدت العديد من التكوينات الصخرية التي في معظمها كربونية جيرية. حيث تتجاوز سماكة التكاوين الصخرية المتكشفة من هذا العصر أكثر من 280 متراً. تقسم صخور الكريتاسي العلوي في إقليم البتراء إلى مجموعتين صخريتين وهما: مجموعة عجلون و مجموعة البلقاء [12]. ولمعرفة التكاوين الصخرية التابعة لكل منهما يمكن الرجوع إلى الشكل (10).

التكاوين الصخرية من مجموعة عجلون (Ajlun Group):

- تكوين ناعور (A1 & A2)

يمكن تمييز هذا التكوين وبسهولة في الميدان خصوصاً في منطقة وادي موسى (شكل 23) وذلك فوق تكوين رمل الكرنب الملون. يتكون من عضوين: السفلي (A1) ويتكون بشكل أساسي من حجر جيري مارلي (حوري) ناعم

التطبق، أما العلوي (A2) فيتكون من الحجر الجيري العقدي. وتبلغ سماكة هذا التكوين في مجمله بحوالي 68 متراً. أما بالنسبة لبيئة الترسيب فيعتقد أنها كانت أثناء ارتفاع واضح لمستوى البحر (محيط التيثس) فوق مجموعة الكرنب الرملية ضمن بيئة بحرية تحت مستوى المد والجزر في رف قاري عريض ومفتوح (inner shelf with open sea connections) [12].

شكل (23): تكشفات صخور مجموعة عجلون قرب عين الصدر على بعد 2 كم إلى الجنوب الشرقي من مركز مدينة وادي موسى.

- تكوين فحيص-حمر-شعيب F/H/S

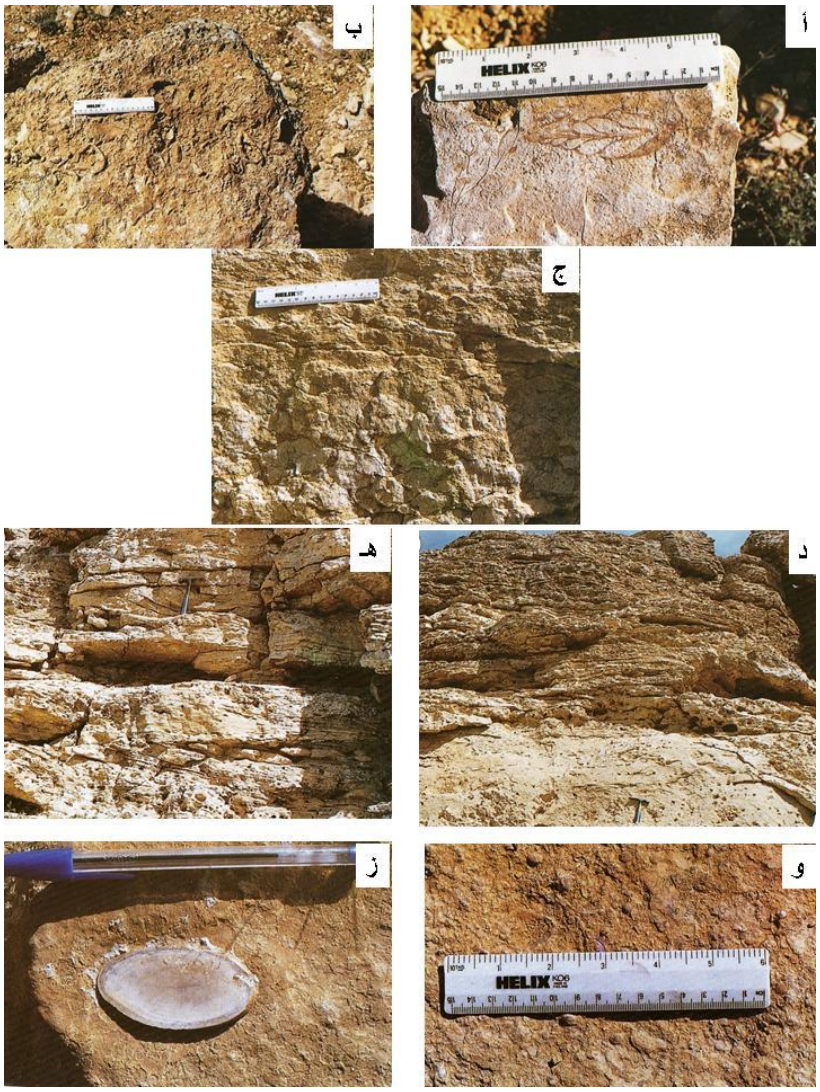
ليس من السهل تمييز هذه التكاوين الصخرية وتتبعها في الميدان. لقد جمعها بويل [25] و قسم المسح الجيولوجي في سلطة المصادر الطبيعية في تكوين واحد يرمز له بالرمز F/H/S. يمكن القول: إنّ بداية تكوين الفحيص (A3) هو التغير في السحنات الصخرية من الحجر الجيري العقدي والرملي والمارلي أحياناً، ونهاية هذا التكوين هو بداية الحجر الجيري الدولوميتي السيليسي. وهذا التكوين في مجمله يغلب عليه السحنات الجيرية الدولوميتية. أما بالنسبة لتكوين الحمر (A4) فمن الصعب جداً تمييزه. أما تكوين شعيب (A5 & A6) فجزؤه السفلي في الإقليم عبارة عن

حجر جيري رملي، وجزؤه العلوي حجر جيري مارلي. وتصل سماكة الطبقات المكونة لهذه التكاوين إلى حوالي 53 متراً. أما بالنسبة للبيئة الترسيبية فهي بيئة بحرية تحت مدية (shallow subtidal) [12].

- تكوين وادي السير (A7)

يتكون بصورة أساسية من الحجر الجيري الرملي الكتلي والحجر الجيري الدولوميتي الكتلي. وتتجاوز سماكة هذا التكوين في وادي موسى 31 متراً، ويتكشف في الأجزاء العلوية منها (شكل 24). و يبدأ هذا التكوين عندما تنتهي الطبقات المارلية المكونة لتكوين شعيب. أما نهايته العليا فتتميز بوجود الحجر الجيري الدولوميتي الغني بكسارة المستحاثات. كما أشار عابد [12] إلى أنّ نسبة الحجر الرملي تزداد في الجزء السفلي فيه في منطقة دلاغة. أما البيئة الترسيبية فهي بيئة بحرية ضحلة (very shallow subtidal) تخللها انحسار للبحر أحياناً نتيجة للحركات المصاحبة لتكوين القوس السوري [12]. يوضح الشكل (25) أبرز الأنواع الليثولوجية ومعالم هذا التكوين حسب نشرة سلطة المصادر الطبيعية [26].

شكل (24): تكشفات تكوين وادي السير في الجز الشمالي الشرقي من مدينة وادي موسى.



شكل (25): تكوين وادي السير من مقطع الطيبة - وادي موسى. (أ) حجر جيري أحفوري ،(ب) حجر جيري أحفوري ، (ج) حجر جيري عقدي وأووليتي و سترومانوليتي ، (د) حجر جيري سميك التطبق – الجزء السفلي ، (هـ) حجر جيري رملي متقاطع الطبقية وناعم الطبقية، (و) حجر جيري أووليتي أحفوري، (ز) عقدة صوانية في طبقات الحجر الجيري [26].

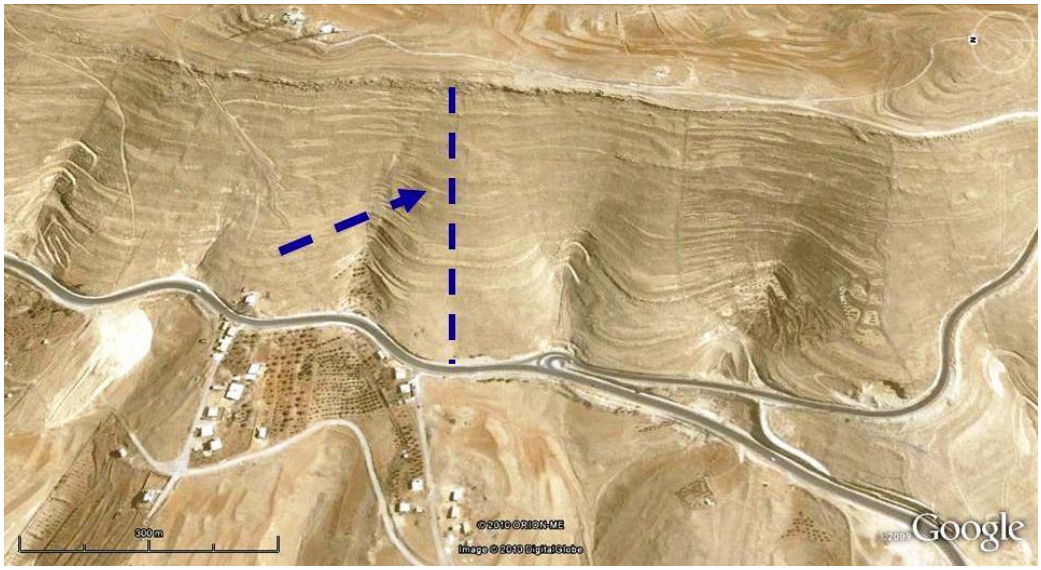
التكاوين الصخرية من مجموعة البلقاء (Belqa Group):

- تكوين الغدران (B1)

يتكون هذا التكوين من الحجر الرملي إضافة إلى الحجر الجيري المارلي. وتتجاوز سماكته 12 متراً. تكون هذا التكوين ضمن بيئة الرف القاري الداخلية [12]. يتكشف وبشكل واضح في المناطق الجبلية المرتفعة خصوصاً في الأجزاء الشرقية من الإقليم (شكل 26).

- تكوين عمان (B2)

أما هذا التكوين فيتكون جزؤه السفلي من الحجر الجيري السيليسي بسماكة تصل إلى ما يقارب 38 متراً. أما جزؤه العلوي يتكون من الحجر الجيري السيليسي الفوسفاتي والذي تصل سماكته إلى حوالي 17 متراً. ويبدو أن هذا التكوين قد تكون في بيئة متوسطة من الرف القاري المفتوح إلى بيئة بحرية ضحلة تحت مدية [12].



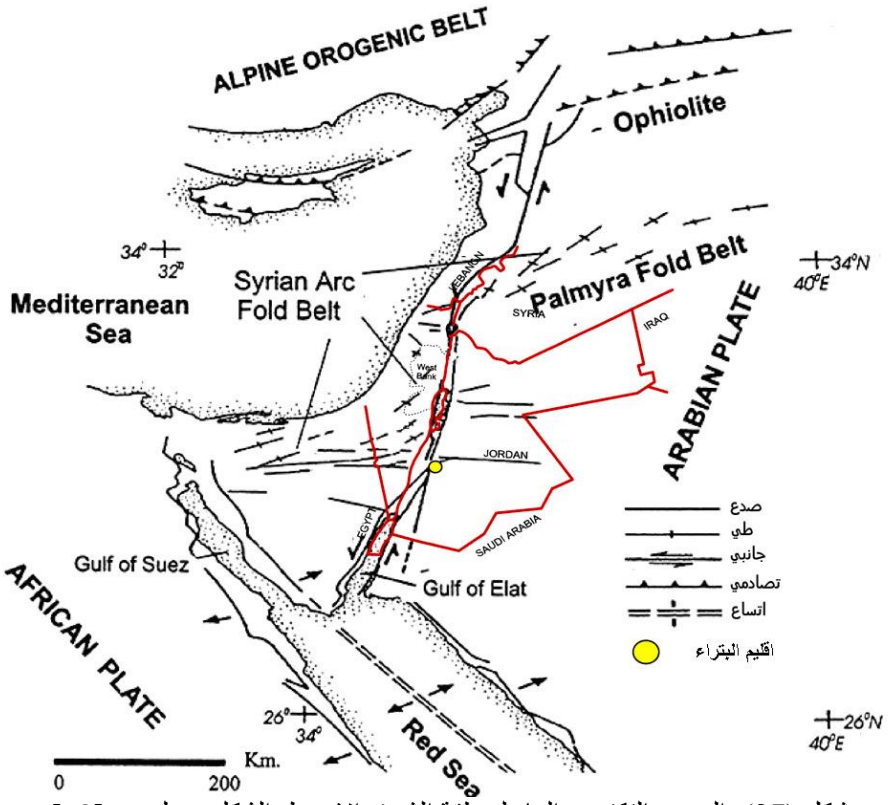
شكل (26): منظر عام لتكوين وادي السير (الاسفل)، تكوين الغدران، و تكوين عمان شمال شرق وادي موسى (منطقة المديرج) [2].

3. 4 صخور حقبة الحياة الحديثة (Cenozoic Rocks)

إنّ عوامل ما بعد الترسيب وأهمها التعرية التي سادت في حقبة الحياة الحديثة عملت على نقل المواد أو دفن بعض المعالم، وهذا ملاحظ بشكل بارز في مدينة البتراء [27]. وبشكل عام فإنّ صخور ورسوبيات هذه الحقبة تتكون بصورة أساسية من ركاميات السفوح ورسوبيات الأودية.

4. الجيولوجيا التركيبية (Structural Geology)

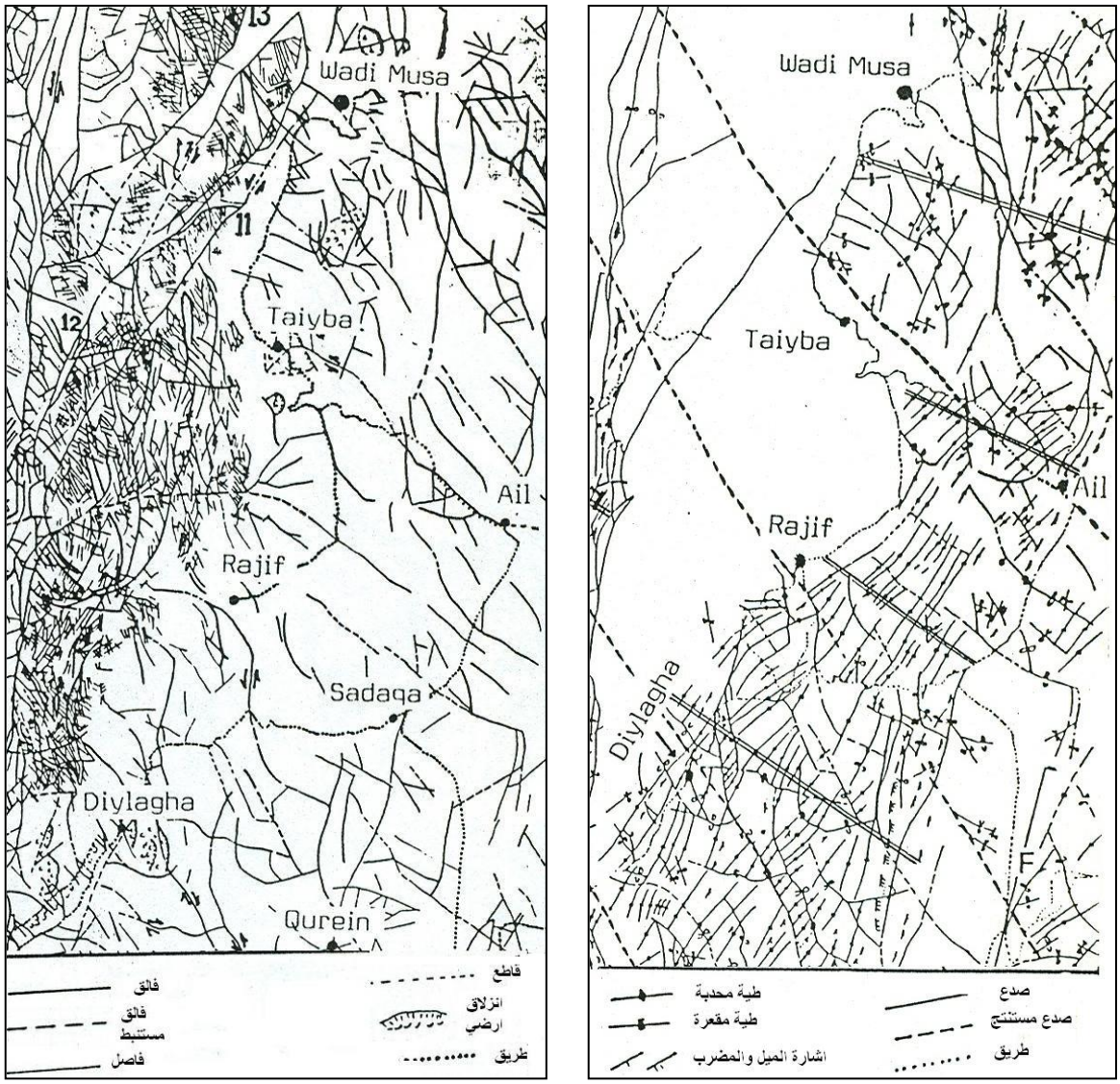
إنّ تكنونية المنطقة يتحكم بها صدع الأردن التحويلي (Dead Sea Transform Fault System) وهو عبارة عن حدث تكتوني رئيس مسؤول عن تكوين معظم التراكيب الحديثة في المنطقة، وهو المسؤول عن التطور الستراتغرافي والتركيبي في المنطقة منذ عصر الميوسين [12، 28 و 29].



شكل (27): الوضع التكتوني العام لمنطقة الشرق الاوسط. الشكل معدل من [29].

إنّ أهم التراكيب الجيولوجية السائدة في الإقليم هي عبارة عن الصدوع والطيات والفواصل (شكل 28، 29، 30). تبرز الطيات بشكل واضح في الأجزاء الجنوبية الغربية والأجزاء الشمالية. أما الصدوع، فتوجد بتوجيه متعدد وأشهرها في المنطقة هو صدع وادي موسى، الذي يمتد من جنوب غرب مدينة وادي موسى وينحرف 35 درجة عن الشمال [5،11].

شكل (28): تراكيب الطيات شمال غرب قرية دلاغة.



شكل (29): خريطة تبين توزيع أهم التراكيب الجيولوجية (طيات–يمين، صدوع، فواصل و انزلاقات أرضية–يسار).

الشكل معدل [5].

شكل (30): أنظمة الفواصل العمودية في صخور أم عشرين وصخور الديسي شمال البتراء.

5. الجيولوجيا الهندسية (Engineering Geology)

تتميز المنطقة بحدوث الفيضانات وحركات للكتل الصخرية كسقوط الكتل الصخرية من المرتفعات وهذا واضح جدا من الراجف جنوبا حتى وادي موسى شمالاً (شكل 31، 32، 33) . ترتبط الكتل الساقطة ارتباطاً مباشراً مع صخور الحور والطباشير والحور الجيري التي تنتشر في المنطقة. يعود السبب في حركة الكتل الصخرية والفيضانات إلى الطبيعة ذات الانحدار الشديد، الصدوع والصخور المتصدعة في المنطقة، إضافة إلى الجريان السريع والخاطف في السيول خلال فصل الشتاء. ومن الجدير ذكره أن مثل هذه الظاهرة تحدث بشكل متكرر في مدينة البتراء الأثرية (شكل 34). ففي العقدين الأخيرين تعرضت معظم مناطق الإقليم لخطر الفيضان كتلك التي حدثت في شهر كانون الثاني من عامي 2004 و 2014. هذا وقد عملت سلطة إقليم البتراء التنوي السياحي على إيجاد منظومة نظام الإنذار المبكر في بعض مناطق الإقليم والعمل به للحد من خطر الفيضانات.

ومن المخاطر الطبيعية الأخرى التي تهدد بعض مناطق الإقليم هي حركات الكتل الصخرية كسقوط الكتل الصخرية من المرتفعات. وهذه الظاهرة تم رصدها بشكل واضح في مدينة البتراء في كل من السيق والمنطقة الواقعة بالقرب من مدرج المذبح حيث ترتبط الكتل الساقطة ارتباطاً مباشراً مع التشققات والفواصل المنتشرة ضمن صخور تكوين أم عشرين (شكل 35).

شكل (31): انهيار أرضي وسقوط لكتل صخرية في الجزء الشرقي من مدينة وادي موسى.

شكل (32): سقوط لكتل صخرية في الجزء الشمالي الشرقي من قرية الطيبة.

شكل(33): صورة توضح سقوط الكتل الصخرية وآثار عوامل التعرية فيما يعرف محلياً بمنطار الذخيرة غرب قرية الطيبة الجنوبية.

شكل (34): تجمع مياة الأمطار في سيق البتراء خلال شتاء 2005 شهر كانون الثاني.

شكل (35): انهيار صخري في صخور أم عشرين الرملية في مدينة البتراء الاثرية.

هنالك العديد من التهديدات الطبيعية التي تعرضت لها مناطق إقليم البتراء تاريخياً أو قد تتعرض لها في المستقبل كالزلازل وما ينتج عنها من انهيارات وتدمير (شكل 36)، إضافة إلى أشكال التعرية والتجوية المختلفة. وقد سجلت حديثاً العديد من الزلازل غير المدمرة والتي لا يزيد مقدارها عن 3 درجات على مقياس رختر [30].

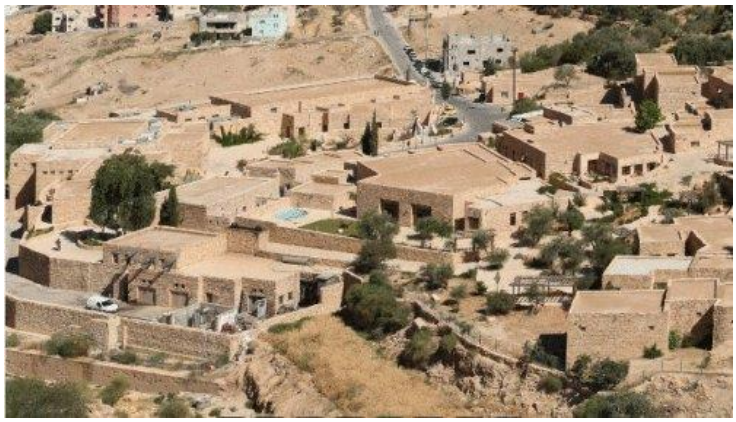
شكل (36): انهيار المعبد العظيم بفعل الزلازل التي حدثت في القرن السادس الميلادي [31].

إنّ معدل التعرية في مناطق الإقليم والمناطق المماثلة لها يزداد بزيادة معدل السقوط ونقصان الغطاء النباتي [7 , 32] إضافة إلى تأثير الرياح والعوامل المرتبطة بالانسان.

6. الجيولوجيا الاقتصادية (Economic Geology)

إنّ الدراسات المرتبطة بموضوع الخامات المعدنية والصخور الصناعية في الإقليم محدودة وهي ضمن دراسات المسح الجيولوجي التي قامت بها سلطة المصادر الطبيعية، علماً بأنّ هذه الدراسات في الغالب غير متوفرة وغير منشورة. بشكل عام يمكن حصر أبرز الخامات المعدنية والصخور الصناعية في الإقليم بما يلي:

– **حجارة البناء:** حجارة البناء هي بشكل رئيس عبارة عن حجر جيري من مستويات مختلفة ضمن صخور الكريتاسي العلوي. هذا وقد استخدمت قديماً في بناء المنازل وما زالت بعض مناطق الإقليم تحتفظ بهذه المنازل القديمة أو بقاياها حتى الآن (شكل 37). أما داخل مدينة البتراء فقد انتشرت المقالع منذ زمن الأنباط واستخدم الحجر الرملي كحجارة للبناء أيضا (شكل 38).



شكل (37): منتجع بيت زمان (قرية النوافلة سابقاً) في مدينة وادي موسى وقد استخدمت الحجارة الجيرية المتوفرة في المنطقة في بنائه.

شكل (38): منظر لأحد مقالع الحجر الرملي في مدينة البتراء الأثرية[33] .

– **رواسب الطين:** تتكشف رواسب الطين في منطقة وادي موسى حيث استخدمت هذه الرواسب لصناعة الفخار منذ حضارة الأنباط وتوجد هذه الرواسب في الأجزاء السفلى والعليا لتكاوين الفحيص/الحمر/شعيب التابع للعصر السينوماني وهي رواسب بحرية غنية بالأحافير الدقيقة والكبيرة وتتميز هذه الطبقات بوجود شقوق وفواصل كثيرة ناتجة عن التأثر بتكتونية المنطقة [34].

– **الصخر الزيتي:** سجلت كميات كبيرة من الصخر الزيتي في المنطقة حيث تتكشف 7 كم غرب الراجف في وادي المشيتي ضمن مستويات مختلفة ضمن الكريتاسي العلوي. وقد سجل حوالي 30–50 م ضمن تكوين الموقر السفلي .[5]

– **الرمل الزجاجي:** تتكشف خامات الرمل الزجاجي في المنطقة الشمالية والجزء الشمالي الغربي، وبالتحديد في منطقة البيضا و شمال غرب البتراء (شكل 39).

– **النحاس:** تتواجد خامات النحاس في الأجزاء الغربية ضمن صخور الكامبري الأسفل، حيث إنّ هذه الخامات تحتاج إلى المزيد من الدراسة والبحث. هذا وقد تم تعدين النحاس من قبل الأنباط وما زالت آثار العمليات التعدينية والمناجم المهجورة ماثلة للعيان في مناطق وادي عربة.

– **الحصباء ورسوبيات الأودية:** يمكن تعدين هذه الرسوبيات واستخدامها كمواد بناء.

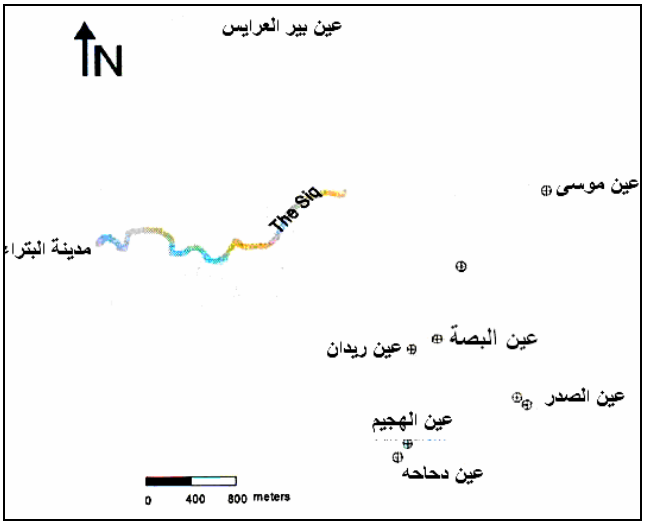
شكل(39): تكشفات الرمل الزجاجي غرب البتراء (سيل وادي موسى).

7. الهيدروجيولوجيا (Hydrology)

ركزت الدراسات المتعلقة بموضوع المياه على العصور القديمة، لذلك فإنّ الإقليم يحتاج إلى مزيد من الدراسات الهيدرولوجية وخصوصاً من ناحية استكشاف المخزون الجوفي للمياه الجوفية من خلال الطرق الحديثة والاستفادة من نظام ال GIS والنمذجة [مثل 35]. إنّ الحاجة لمثل هذه الدراسات مرتبط ارتباطاً مباشراً بالازدياد الملحوظ في عدد سكان الإقليم وزيادة الرقعة السكانية وزيادة الطلب على المصادر المائية الجوفية، علماً بأن المعلومات المتوفرة تشير إلى أنّ معظم مناطق الإقليم تصنف ضمن المناطق الواعدة لاستكشاف المياه الجوفية فيها.

إنّ المتمعن بهيدرولوجية المنطقة يجد فيها تميزاً واضحاً، وهذا ما دفع الأنباط إلى استغلال المياه السطحية من مصادرها المختلفة للحفاظ على نظام مائي متزن. تاريخياً تميزت المنطقة بأنظمة ري متطورة وأنظمة مماثلة لإدارة الري [36]. و بشكل عام تتميز المنطقة بوجود نظام مكثف من القنوات سريعة الزوال والروافد إضافة إلى العديد من الأودية شديدة الميل غالباً [7].

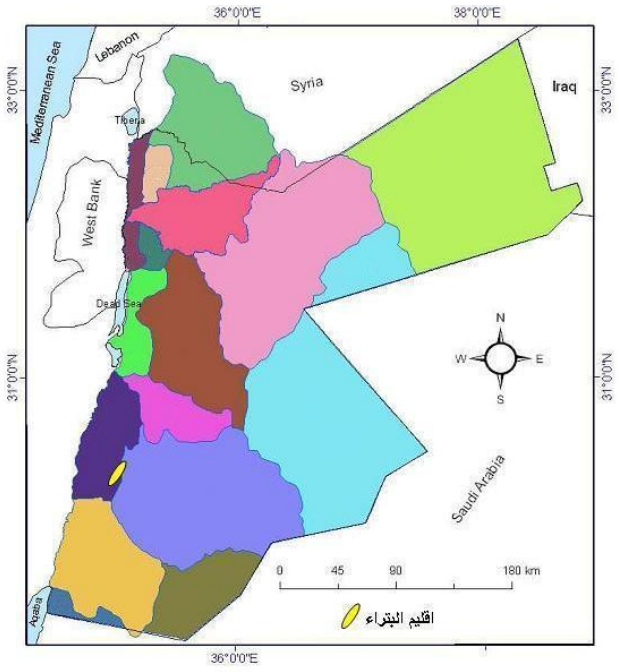
إنّ أهم مصادر المياه في المنطقة هي المياه الجوفية والتي حين يتقاطع فيها منسوب الماء الجوفي مع سطح الأرض تنساب المياه على شكل عيون. إنّ المنطقة مزدهرة جداً في عيونها وأبرزها تلك الموضحة في الشكل (40). إنّ أغلبية هذه العيون مثل عين موسى – والتي استخدمت منذ زمن الأنباط (شكل 41) – مصدرها صخور الكريتاسي العلوي المكونة من الحجر الجيري المارلي والحجر الجيري السيليسي ذي الفواصل، ما عدا عين بيرالعرايس التي مصدرها الصخور الرملية من الكريتاسي السفلي [6].



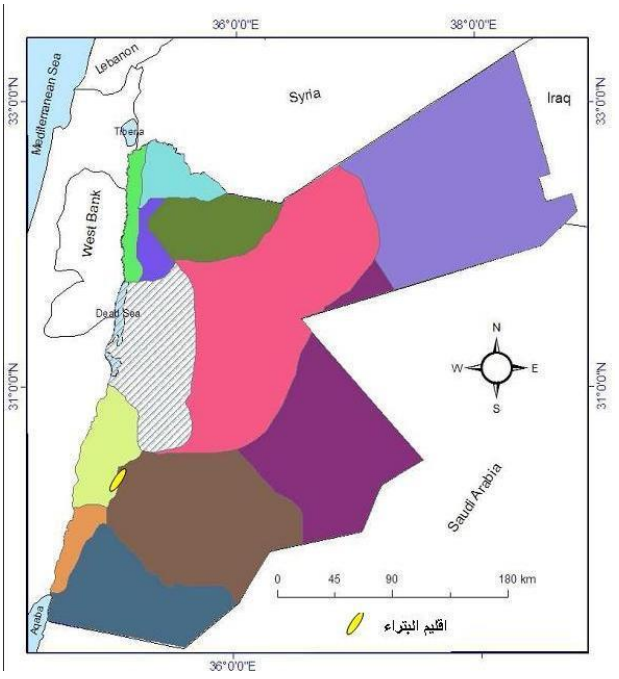
شكل (40): موقع العيون الرئيسية في المنطقة المجاورة لمدينة البتراء. الشكل معدل من [6].

شكل (41): قنوات تصريف المياه الجوفية في مدينة وادي موسى ومدينة البتراء الأثرية.

أما من ناحية موقع الإقليم من حيث الأحواض المائية فهذا موضح في كل من شكل (42) و شكل (43)، حيث تتعدد الأحواض المائية السطحية والجوفية في الإقليم. أما من ناحية خزانات المياه الجوفية في الإقليم فأهمها ما يعرف جيولوجياً بـ (A7-B2) وهي طبقات الحجر الجيري والمرافقة لها والتابعة لتكوين وادي السير وتكوين عمان.



شكل (42): أحواض المياه السطحية الرئيسية في الأردن. [37].



شكل (43): أحواض المياه الجوفية الرئيسية في الأردن. [37].

8. السياحة الجيولوجية والبيئية (Geologic & Environmental Tourism)

إضافة إلى عناصر السياحة التقليدية والترفيهية، يحتضن الإقليم أنماطاً متعددة من عناصر السياحة الجيولوجية والبيئية، حيث تتميز صخوره بتنوعها وجماليتها وتتعدد فيه التراكيب الجيولوجية مما جعله بيئة خصبة للدارسين والباحثين في هذا المجال. إنّ تنوع المظاهر البيئية الطبيعية وجماليتها الجذابة خصوصاً في منطقتي البتراء والبيضا، إضافة لما صنعته العوامل التكتونية من منخفضات وجبال عالية تفصلها الممرات الضيقة كل هذا أدى إلى إعطائها أهمية بيئية خاصة ساهمت في التطور السياحي [38].

ولقد درست بعض مناطق الإقليم وخصوصاً الأثرية منها ضمن العديد من الأبحاث المتعلقة بالجيولوجيا الأثرية والنباتات القديمة، التي ركزت على فهم وإعادة بناء البيئات القديمة، ناهيك عن العدد الكبير من الدراسات الأثرية والحفريات في المناطق المختلفة [39 ، 40 ، 41 ، 42 و 43].

إنّ تنوع المظاهر البيئية من الشرق إلى الغرب في الإقليم أوجدت تنوعاً بيولوجياً وحيوياً كبيراً حيث سجل أكثر من 600 نوعاً من النباتات في المنطقة [44]، وقد وثق هذا التنوع في العديد من الدراسات [مثل45].

تتميز الأجزاء الغربية من الإقليم بوجود النباتات الصحراوية لتختلط مع نباتات السفوح المنتشرة على المنحدرات المطله على الانهدام وصخور الحجر الرملي، إضافة لانتشار بعض الأنواع من الاشجار دائمة الخضرة وأهمها البلوط والعرعر. أما المناطق السكنية فتتركز فيها الأشجار المثمرة والموسمية ويكثر فيها شجر الزيتون. ومع التقدم نحو الأجزاء الشرقية من الإقليم يتغير الغطاء النباتي وتسود فيه النباتات الصحراوية وأهمها الشيح. وقد سجل 13 نوعاً مختلفاً للتنوع الحيوي ضمن محمية البتراء [46]. أما بالنسبة للثديات، فقد أشير لوجود العديد منها كالثعالب والقطط البرية، إضافة لبعض الأجناس ممن البرمائيات والزواحف والطيور المهاجرة [46].

هذا وقد أشارت العديد من الدراسات أنّ للسياحة تأثيراً سلبياً على المواقع الأثرية [47 ، 48]. ولقد نوه كوكي [7] إلى دور الإنسان السلبي على البيئة في منطقة جبل هارون في البتراء ودور العوامل الطبيعية والتكتونية في ذلك. أما العمل اللازم للحفاظ على الإرث الحضاري في مناطق الإقليم وخصوصاً مدينة البتراء الأثرية فقد أشارت له العديد من الدراسات مثل [49 ، 50 و 51] إضافة إلى ما جاء به المخطط الشمولي والمشاريع المرادفة ضمن إنجازات سلطة إقليم البتراء التنموي السياحي.

9. الخاتمة والاستنتاجات (Conclusion)

يقع الإقليم على الحافة الشرقية لوادي عربة (جزء من الانهدام الأردني) حيث إنّ للعمليات التكتونية دوراً حيوياً في جيولوجيته وتكوينه. كشفت الدراسة على أن إقليم البتراء يحتوي على تنوع في صخوره وطبقيته (من صخور القاعدة النارية والرملية القارية حتى الصخور الجيرية البحرية من الكريتاسي العلوي) التي لها أهمية بيئية واقتصادية ومن خلالها يمكن الحصول على على العديد من المعادن والصخور الصناعية، التي تدخل في استخدامات متعددة كحجارة البناء. إلا إنّ مثل هذه المواد تحتاج إلى مزيد من البحث ودراسات الجدوى الاقتصادية. إضافة إلى ذلك، فإنّ إقليم البتراء تنتشر فيه العديد من التراكيب الجيولوجية المتميزة أبرزها: الطيات والصدوع والفواصل وضمن مقاييس مختلفة أنشأها الحركات التكتونية السائدة في المنطقة. إضافةً لما تقدم فإنّ لتنوع المظاهر البيئية من الشرق إلى الغرب في مناطق الإقليم دوراً كبيراً في التنوع الحيوي فيه.

هنالك العديد من المخاطر الطبيعية التي تهدد مناطق الإقليم كالزلازل التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار. أنّ انحدار معظم مناطق الإقليم وخصوصا الغربية منها، مع وجود الصدوع والصخور المتصدعة، إضافة إلى الجريان الشديد لمياه الأمطار في الأودية والجداول خلال فصل الشتاء، كلها تسببت وتسبب حدوث الفيضانات وحركات الكتل الصخرية من المناطق المرتفعة فيه.

قائمة المراجع (References):

[1] Petra Region Authority Website. <http://www.petra-pra.com.jo>. [Accessed date 01/04/2011].

[2] Google Earth Website. <http://www.rss.gov.jo/metm/docs/Jordan%20environmental%20profile%202006.pdf>. [Accessed date 28/08/2013].

[3] Petra Archaeological Park Website. <http://www.petrapark.com>. [Accessed date 10/07/2010].

[4] Bender, F. (1974) Geology of Jordan, Borntraeger, Berlin, 196 pp.

[5] Abu Taimeh, I.A. (1988) Structural and applied remote sensing studies of Petra – Gharandal area between Wadi Araba. Unpublished MSc Thesis. The University of Jordan. Amman, Jordan.

[6] Al-Farajat, M. and Salameh, E. (2010) Vulnerability of the Drinking Water Resources of the Nabataeans of Petra – Jordan. Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 4, No. 4. pp 321-335.

[7] Kouki, P. (2006) Environmental change and human history in the Jabal Harûn area, Jordan. Unpublished Licentiate's dissertation, Archaeology, University of Helsinki, Helsinki.

[8] Bertrams, M.,Protze, J., Schyle, D., Klasen, N., Richter, J., and Lehmkuhl, F. (2012) A Preliminary Model of Upper Pleistocene Landscape Evolution in the Wadi Sabra (Jordan) Based on Geoarchaeological Investigations. in: Landscape Archaeology. Conference (LAC 2012), eTopoi. Journal for Ancient Studies, Special Volume 3 (2012), 229-236.

[9] Naylor, D., Al-Rawi, M., Clayton, M., Fitzpatrick, M.J., and Green, P.F. (2013) Hydrocarbon Potential of Jordan. J.P.G., Vol. 36 (3), July 2013, pp. 205-236.

[10] Barjous, M.O. (2003) The Geology of Petra and Wadi Al Lahyana Area, Map Sheets No. 3050-I and 3050-IV, National Resources Authority, Geology Directorate, Amman, Jordan, 93 p. Map scale 1:50,000.

[11] Barjous, M. O. (1987) Structural study of the area between Petra and Al Shobak. Unpublished MSc Thesis. The University of Jordan, Amman, Jordan.

[12] Abed, A. M. (2000) The geology of Jordan and its environment and water (in Arabic) Jordanian Geologists Association, Amman, Jordan.

[13] Powell, J. H. (1989) Stratigraphy and sedimentation of the Phanerozoic rocks in central and south Jordan - Part B: Kurnub, Ajlun and Belqa Groups., Natural Resources Authority, Amman - Jordan, Bulletin 11, Geological Mapping Division.

[14] Shahar, J. (1994) The Syrian arc system: an overview. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Vol. 112, no. 1-2. Pp. 125-142.

[15] Paradise, Th. R. (2002) Sandstone weathering and aspect in Petra, Jordan. Zeitschrift für Geomorphologie, NF. Vol 46, Issue. Pp. 1-17.

[16] Paradise, Th.R. (2005) Petra revisited: an examination of sandstone weathering research in Petra, Jordan. Geological Society of America. Special Paper 390.

[17] Paradise, Th.R. (2010) Sandstone Chamber Humidity and Tourism in Petra, Jordan. Journal of Architectural Conservation. Vol 16, No 2. Pp. 63-79.

[18] Heinrichs, K. and Azzam, R. (2012) Investigation Investigation of salt weathering on stone monuments by use of a modern wireless sensor network exemplified for the rock-cut monuments in Petra, Jordan.- International Journal of Heritage in the Digital Era, Vol. 1, Number 2: 191-216, Essex (Multi Science Publishing).

[19] Dumon, F. C. (2010) The Cambro-Ordovician Sequence in the Petra Area, Jordan – Sedimentology and Stratigraphy. MSc Thesis. TA Report number : AES/TG/10-38. Section for Applied Geology, Department of Applied Earth Sciences, Delft University of Technology.

[20] Pfluger, F. (1995) Archaeo-Geology in Petra Jordan. Annual of the Department of Antiquities of Jordan. Vol 39. Pp. 281-295.

[21] Aslan, Z. and Shaer, M. (2000) Condition Assessment and Execution Plan for the Restoration of Tomb 825. Pp. 209-216 in M. Kühlenthal and H. Fischer (eds.), Petra the Restoration of the Rockcut Tomb Facades. Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Band 105. Munich.

[22] Fitzner, B. and Heinrichs, K. (2004) Photo Atlas of Weathering Forms on Stone Monuments. http://www.stone.rwth-aachen.de. [Accessed date 14/07/2013].

[23] Fitzner, B. and Heinrichs, K. (1994) Damage diagnosis at monuments carved from bedrocks in Petra, Jordan, in: The conservation of monuments in the Mediterranean Basin, Stone and monuments: methodologies for the analyses of weathering and conservation, Proceedings of the 3rd International Symposium Venice, 22–25 June 1994 (Scientific editors: V Fassina, H Ott, F Zezza), Venice 1994, p. 670.

[24] Saad, L. and Bashish, M. (1996) Surface and Subsurface Lithostratigraphic Relationships of the Kurnub Sandstone Group in Jordan. Subsurface Geology Bulletin No. 9. The NRA, Amman, Jordan.

[25] Powell, J. H. (1989) Stratigraphy and sedimentation of the Phanerozoic rocks in central and south Jordan - Part B: Kurnub, Ajlun and Belqa Groups., Natural Resources Authority, Amman – Jordan. Bulletin 11, Geological Mapping Division.

[26] Makhlouf, I., Abu-Azzam, H., and Al-Hyari, A. (1996) Surface and Subsurface Lithostratigraphic Relationships of the Cretaceous Ajlun Group in Jordan. Subsurface Geology Bulletin No. 8. The NRA, Amman, Jordan.

[27] Wainwright, J. (1992) Assessing the Impact of Erosion on Semi-Arid Archaeological Sites. In Bell, M. & Boardman, J. (eds.): Past and Present Soil Erosion. Oxbow Monograph 22. Oxford, Oxbow Books, 227-241.

[28] Garfunkel, z. and Freund, R. (1981) Active Faulting in the Dead Sea Rift, Tectonophysics. Vol 80, 1-2.

[29] Rosenthal, E., Weinberger, G., Almogi-Labin, A., and Flexer, A. (2000) Late Cretaceous-early tertiary development of depositional basins in Samaria as a reflection of eastern Mediterranean tectonic evolution. AAPG Bulletin. Vol. 84, no. 7. Pp. 997-1014.

[30] The Natural Resources Authority (2009) Earthquakes in Jordan and adjacent area (2009). Jordan Seismological Observatory. Bulletin no. 41. Amman, Jordan.

[31] Niemi, T. M. (2009) Paleoseismology and archaeoseismology of sites in Aqaba and Petra, Jordan. In Dead Sea Workshop. Edited by: Rivka Amit, R., Amotz, A., and Matmon, A. The Dead Sea Rift as a natural laboratory for earthquake behavior.:<http://www.gsi.gov.il/Eng/_Uploads/272Field-guide-DSW-2009-Petra_Jordan.pdf>.[Accessed date 28/01/2008]**.**

[32] Beven, K. (2001) Runoff generation in semi-arid areas. In- Bull, L. J. & Kirkby, M. J. (eds.): Dryland Rivers. Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels. Chichester, John Wiley & Sons.

[33] The Quarry Scapes Project Website. Conservation of ancient stone quarry landscapes in the Eastern Mediterranean. <http://www.quarryscapes.no/index.php>. [Accessed date 11/09/2010].

[34] Abu Dayyeh, B. (1993) Geology, mineralogy, geochemistry and industrial applications of the clay deposits from Wadi Musa-Petra area, S. Jordan. Unpublished M.Sc.thesis. The University of Jordan, Amman.

[35] El-Naqa, A., Hammouri, N., Khader, K. and Al Taj, M. (2009) Integrated approach for groundwater exploration in Wadi Araba using remote sensing and GIS. Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 3, No. 3, pp 229-243.

[36] Lavento,M. & Huotari, M. (2002) A water management system around Jabal Harûn, Petra - its design and significance. In- Ohlig, C., Peleg, Y. & Tsuk, T. (eds.): Cura Aquarum in Israel. Siegburg, Deutsche Wasserhistorische Gesellschaft, 93-106.

[37] NAP (Jordan National Action Plan). In the report of the Environmental Profile of Jordan 2006. <http://www.rss.gov.jo/metm/docs/Jordan%20environmental%20profile%202006.pdf >. [Accessed date 18/04l2011].

[38] Franchi, R., Savelli, D., Colosi, F., Drapp, P., Gabrielli, R., Moretti, E. & Peloso, D. (2009) Petra and Beida (Jordan): two adjacent archaeological sites up to an exploitation ofgeomorphology-related topics for a cultural and touristic development. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. LXXXVII, pp. 77-90.

[39] Fiema, Z. T. (2004) St. Aaron revisited - The Finnish excavations at Jabal Harun near Petra. SHAJ 8, 129-139.

[40] Amr, K., Al-Momani, A., Al-Nawafleh, N. & Al-Nawafleh, S. (2000) Summary Results of the Archaeological Project at Khirbat an-Nawafla/WadiMusa. ADAJ 44, 231-255.

[41] Lindner, M., Hübner, U. & Hübl, J. (2000) Nabataean and Roman presence between Petra and Wadi 'Arabah survey expedition 1997/98: Umm Ratam. ADAJ 44, 535-567.

[42] Field, J. (1989) Geological setting at Beidha. In Byrd, B. F. 1989b: The Natufian Encampment at Beidha. Excavations at Beidha I. Jutland Archaeological Society Publications 23:1. Århus, Jysk Arkæologisk Selskab, 86-90.

[43] Lindner, M. (1987) Archaeological explorations in the Petra region 1980-1984 (1986). SHAJ 3, 291-294.

[44] Aeoliki Ltd. (2006) Environmental Assessment for the Mövenpick Petra. GREENTAS-LIFE05/TCY/HKJ/000132, Project Deliverable for Task 3.

[45] Künne, I. & Wanke, M. (1997) Petra: Landschaft und Pflanzenwelt. In- Lindner, M. (ed.): Petra und das Königreich der Nabatäer. 6th, Revised Edition. München and Bad Windsheim, Delp, 233-256.

[46] Damhoureyeh, S. , Disi, A. , Al-Khader, I. and Abu-Dieyeh, M. (2011) Development of a zoning management plan for Petra archaeological park (PAP), Jordan. Natural Science, 3, 1040-1049.

[47] Akasheh, T. S. (2012) The Environmental and Cultural Heritage Impact of Tourism Development in Petra–Jordan. In- Comer, D. C. (ed.) Tourism and Archaeological Heritage Management at Petra - Driver to Development or Destruction? (Springer Briefs in Archaeology). New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer, pp. 131 – 144.

[48] Mustafa, M., Abu Tayeh, S. (2011) The Impacts of Tourism Development on the Archaeological Site of Petra and Local Communities in Surrounding Villages. Asian Social Science. Vol. 7, No. 8. Pp 88-96.

[49] Mustafa, M. and Balaawi, F. (2013) Evaluating visitor management at the archaeological site of Petra. Mediterranean Arhaeology and Archaeometry, Vol. 13, No 1. Pp.77-87.

[50] Tuttle, C. A. (2013) Preserving Petra Sustainably (One Step at a Time): The Temple of the Winged Lions Cultural Resource Management Initiative as a Step Forward. Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies Volume 1, No 1. Pp. 1-23.

[51] Bala"awi, F., Waheeb, M., Alshawabkeh, Y., and Alawneh, F. (2011) Conservation Work at Petra: What has been done and what is needed. International Conference: Conservation of Architecture, Urban Areas, Nature & landscape Towards a Sustainable Survival of Cultural Landscape (Heritage 2011). Amman, Jordan.