

الرسمُ الخرائطي والتحليلُ الجيومورفولوجي للأشكال التضاريسية المختلفة في منطقة
أرض العرب – **Arabia Terra** _ كوكب المريخ

أحمد سعيد ياسين الغريري
مدرس دكتور في جامعة القادسية – كلية الآداب,

Ahmed.yasien@qu.edu.iq

د. محمد سلمان صالح الجبوري
جامعة بغداد – كلية الآداب – قسم الجغرافية و خبير أقدم في وزارة التربية (متقاعد),

tjibori2@gmail.com

**Cartography and geomorphological analysis of the different
geomorphic forms in the region of Arabia Terra – Mars**

Ahmad S. Yasien Al-Gurairiy
University of Al-Qadisiyah – College of Arts, Geography department,
Al-Diwaniyah, Iraq
Mohamed S. Salih Al-Jubory
University of Baghdad – College of Arts, Geography department, Baghdad,
Iraq



المستخلص

تصدت هذه الدراسة لتسليط الضوء على ظواهر جيومورفولوجية تنتشر على سطح توأم الأرض (كوكب المريخ)، ونعتقد انها ستُسَنُّ فراغاً فيما نُشِرَ حول هذه الظواهر باللغة العربية، لاسيما بعد ان أصبحت الجيومورفولوجيا الكوكبية تخصصاً قائماً بذاته وما لها من مستقبل مشرق في التخطيط للبعثات المستقبلية لاستكشاف نظامنا الشمسي وتحقيق فهم اوسع في مجال الجيومورفولوجيا الكونية.

إن دراسة الظواهر الجيومورفولوجية المنتشرة على سطح المريخ تُقدم لنا دليلاً واضحاً على نشاطِ جيومورفولوجي كان يَغْمُ سطحُ هذا الكوكب في عصورٍ جيولوجية سابقة. ثم تضاءل نشاط هذه العوامل مع مرور الزمن بالتدريج، لكن آثارها بقيت شاهداً على ذلك النشاط الجيومورفولوجي. وقد إنتبه الباحثون بشكلٍ يُثِيرُ الإعجاب منذُ القرن التاسع عشر الميلادي لأوجه التشابه بين ظواهر سطح المريخ ومثيلاتها الموجودة على سطح الأرض، وقادهم ذلك التشابه إلى إفتراض فرضيات كثيرة حول وجود حياةٍ على سطح هذا الكوكب. ونظرا لسعة سطح المريخ وتباين الظواهر الجيومورفولوجية المنتشرة عليه، فقد ركزت دراستنا هذه على جزءٍ منه كان قد أُطلق عليه الفلكي الإيطالي (جيوفاني شياپاريلي) تسمية أرضِ العَرَب عام ١٨٧٩ ، وذلك لوجود تشابه كبير بين الظواهر الارضية في هذا القسم وبين تلك الظواهر الجيومورفولوجية السائدة في البلاد العربية، بعد أن رصدها بأدواته المتواضعة آنذاك.

كذلك، تُركِزُ هذه الدراسة عموماً على وصف وتحليل الظواهر التضاريسية لسطح المريخ، لاسيما تلك التي أوجدها النشاط الهيدرولوجي والريحي، إضافةً إلى عوامل التجوية وأثر الجليد على المنطقة. حيث تهدف أيضاً، إلى محاولة تلمس ماتبقى من آثار تلك النشاطات وبخاصة الريحية منها، لاسيما وان الجيومورفولوجيا المريخية لديها القدرة على أن توفر لنا رؤى أعمق للتطور المبكر للكوكب. كذلك، فإن مما مايدغم أثر الرياح في تشكيل سطح المريخ هو ما تُقَدِّمُهُ البيانات الفضائية من صُورٍ تُثَبِّت وجود دواماتٍ هوائية - Devil Tower - وهي ذات أثرٍ واضحٍ على سطح هذا الكوكب واشكاله الجيومورفولوجية المختلفة، وهو ما يُؤكِّد وجود غلافٍ جويٍ لا يزال يؤثر في تشكيل سطح الكوكب الاحمر، وانه لم يفقد غلافه الجوي بالكامل كما كان يُعتقد سابقاً .

الكلمات المفتاحية: كوكب المريخ، كوكب الأرض، الجيومورفولوجيا الفضائية، أرض العرب، الخارطة الجيومورفولوجية للمريخ، الخارطة الجيولوجية للمريخ .

Abstract

This study sheds light on geomorphological phenomena that spread on the surface of Earth's twin planet (Mars), and we believe that it will fill a void in what has been published about these phenomena in Arabic, especially after planetary geomorphology has become a stand-alone specialization and has a bright future in planning future missions to explore our system. solar system and achieve a broader understanding in the field of cosmic geomorphology. Benefiting from the study of the geomorphological phenomena spread on the surface of Mars provides us with clear evidence of geomorphological activity that was pervading the surface of this planet in previous geological eras. Then the activity of these factors diminished with the passage of time gradually, but their effects remained as a witness to that geomorphological activity. Since the nineteenth century AD, researchers have paid attention to the similarities between the phenomena of the surface of Mars and their counterparts on the surface of Earth, and that similarity led them to hypothesize many hypotheses about the existence of life on the surface of this planet.

In view of the vastness of the surface of Mars and the variation of the geomorphological phenomena spread on it, our study focused on a part of it that the Italian astronomer (Giovanni Schiaparelli) called Arabia Terra (which means the Land of the Arabs) in 1879, due to the presence of a great similarity between the terrestrial phenomena in this section and those geomorphological phenomena prevailing in the country. Arabic, after he monitored it with his humble tools at the time.

Generally, its focuses on describing and analyzing the terrain phenomena of the surface of Mars, especially those created by hydrological and wind activity, in addition to weathering factors and the impact of ice on the region. It also aims to try to touch the remaining effects of these activities, especially the wind ones, especially since the Martian geomorphology has the ability to provide us with deeper insights into the early development of the planet. Likewise, what supports the effect of winds in shaping the surface of Mars is the images provided by space data proving the existence of air vortices - the Devil Tower, which have a clear effect on the surface of this planet and its various geomorphological forms, which confirms the presence of an atmosphere that still affects the formation of the surface of the planet red, and that it did not completely lose its atmosphere as was previously thought.

Keywords: planet Mars, planet Earth, space geomorphology, Arabia Terra, geomorphological map of Mars, geological map of Mars.

المقدمة – Introduction :

يُعدُّ المريخ (Mars Planet)، بعد كوكب الأرض، الكوكب الوحيد المعروف بأن له تاريخاً جيولوجياً يتضمن دورة مائية على سطحه في أشكالها المختلفة: بحالتها الصلبة (الجليد)، السائلة (المياه) والغازية (بخار الماء). وعلى الرغم من أن كوكب المريخ في حالته الحالية عبارة عن صحراء شديدة الجفاف مما يجعل بيئته تمتاز بأنها ذات درجات حرارة منخفضة، إلا أن هناك أدلة كثيرة تُشير إلى وجود الماء السائل والجليد على سطح الكوكب أو حتى تحت سطحه خلاله تاريخه الجيولوجي الطويل (Bibring et al., 2006). الامر الذي يقود لمحاولة الإجابة عن السؤال المتعلق بمدى مساهمة المياه كونها عاملاً جيومورفولوجياً كبيراً في تشكيل ونحت الأشكال التضاريسية المريخية المختلفة ؟ وهل من الممكن ان تساهم عوامل اخرى في هذا الجانب بجانب مساهمة المياه ؟ فضلاً عن، التساؤل الذي يمكن ان يُطرح عن مدى التشابه بين الأشكال التضاريسية الارضية والمريخية ؟ لاسيما وان المريخ يشابه كوكب الارض من حيث مدة زمن التاريخ الجيولوجي الممتد منذ ٤.٦ مليار سنة. حالياً، تقع أكبر خزاناته المائية المتمثلة بـ (الجليد المائي السطحي وتحت السطحي) في المناطق القطبية من المريخ (Bibring et al., 2004). فيما تُشير دراساتٍ متخصصة بهذا المجال، إلى أن الجليد يُهاجر مباشرةً إلى المناطق الإستوائية القريبة من (دوائر العرض المنخفضة التي تقع بين ١٠ - ٢٠ درجة) بالخصوص خلال فترات الإنحراف العالية في ميل محور كوكب المريخ. لذ فقد أظهرت العديد من الدراسات ان التجلد شبه الإستوائي يمكن ان يحدث بشكلٍ عرضي كنتيجة لهذه الحالة (Head et al., 2006; Baioni, 2014; Murana & Tramontana, 2014). مؤخراً، أظهرت بعض الدراسات العلمية الحديثة أدلةً على احتمالية وجود الجليد في المناطق الإستوائية وشبه الإستوائية للكوكب الأحمر - Mars Planet (Mège & Bourgeois, 2011; Baioni, 2014; Murana & Tramontana, 2014)، الامر الذي يعني ان للجليد دوراً قد يكون

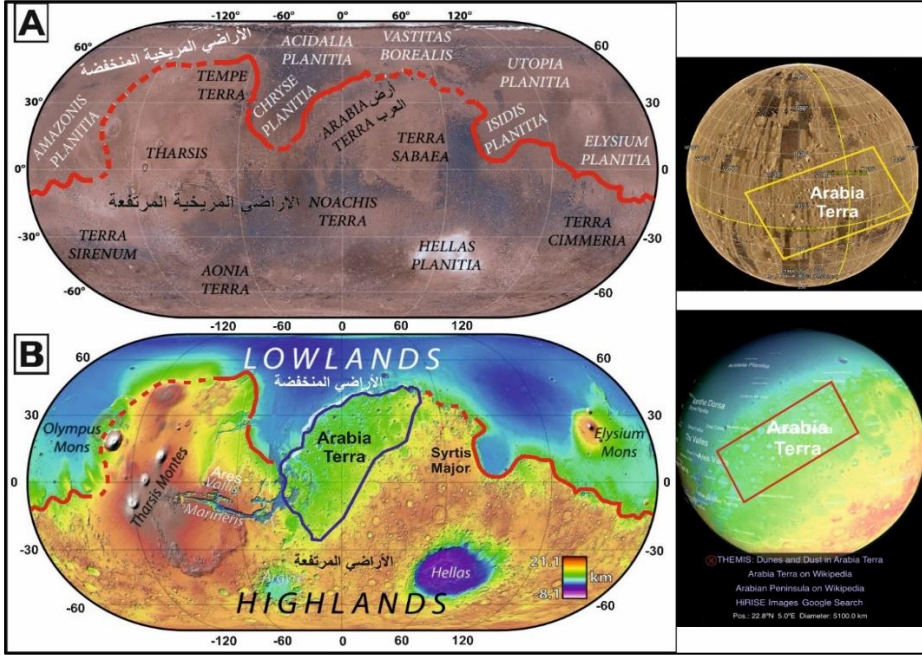
كبيراً جداً في نشأة وظهور العديد من المظاهر التضاريسية المريخية، لاسيما بعد توقف او ضعف عمليات التعرية المائية منذ مئات الملايين من السنين. يجدر بالذكر كذلك، بأن الحفر الصدمية التي شكلتها النيازك على سطح المريخ - **Craters** والفوهات البركانية - **Caldera** أيضاً، تعمل بدورها للمحافظة على الطبقات الجليدية التي تتشكل داخلها، نظراً لأن هذه الحفر ستعمل على حماية الجليد المتشكل على قاعها العميق من التأثيرات المحتملة للشمس او الرياح، اللتان يمكن ان تعملان على إزالة تلك الطبقات الجليدية لو كانت قد تشكلت في منطقة مفتوحة كالسهول مثلاً (Levy, Head & Marchant, 2009).

وفقاً لذلك، فنحن نعلم اليوم أيضاً، بأن للمريخ تاريخٌ طويلٌ ومعقدٌ من النشاط الجيولوجي، بما في ذلك النشاط البركاني والتكتوني، فضلاً عن قوى التعرية والترسيب والعوامل الجوية، ونتيجةً لهذه النشاطات الجيولوجية الضخمة، نجد ان أعلى بُركان في المجموعة الشمسية وهو بُركان (أوليمبوس مونس - Olympus Mons)، يقع في منطقة تارسييس على المريخ (Carr and Head, 2010). ويبدو أن النشاط التكتوني الذي تسبب بتكوين منطقة تارسييس قد أثر بشكلٍ أساسي على سطح الكوكب، متمثلاً بصعود منطقة تارسييس التي حدثت خلال فترة النواشيان - Noachian period (Carr, 2007). بالإضافة إلى ذلك، فإن الإنقسام الواضح بين الشمال والجنوب هو أحد السمات الرئيسية التي تتوافق مع التكتونية العامة لهذا الكوكب. لذا يُعد الإنقسام بين المرتفعات الجنوبية ذات الكثافة العالية بوجود الفوهات وبين تلك الأراضي المنخفضة الشمالية قليلة الحفر الصدمية او البركانية، أحد أكثر السمات بروزاً على سطح هذا الكوكب (Scott, 1978).

وفقاً لذلك، فقد تغيرت نظرتنا للمريخ تماماً من كونه كوكبٌ غير نشطٍ جيولوجياً وملئٍ بالفوهات إلى كونه كوكبٌ يضمُّ أغطيةً جليديةً قطبية، فضلاً عن براكينٍ نشطت سابقاً بفضل نشاطٍ تكتونيٍ قوي، بالإضافة إلى تشكيله لوديانٍ نهريّةٍ مختلفة الضخامة خلال تاريخه الجيولوجي الطويل الممتد منذ ٤.٦ مليار سنة.

الرسمُ الخرائطي والتحليلُ الجيومورفولوجي للأشكال التضاريسية المختلفة في منطقة أرض العرب - Arabia Terra_ كوكب المريخ

عموماً، تُركز هذه الدراسة على منطقة قديمة وواسعة من المريخ، وهي منطقة أرض العرب (Arabia Terra) التي تُعدُّ إحدى أكبر المناطق النجدية - الصخرية القديمة في نصف الكرة الشمالي لكوكب المريخ، وهو ما يمكن إستنتاجه من شدة تعرض صخورها للتعرية والتعرض للتآكل الشديد نتيجة إنكشافها الطويل على السطح، فيما يبلغ طول إمتدادها شرق - غرب نحو ٥١٠٠ كم وفقاً لـ (NASA/HiRISE/JPL-Caltech/University of Arizona State)، كما موضح في الشكل (١).



الشكل (١) خارطة المناطق والسمات الطبوغرافية الرئيسة لكوكب المريخ، موضحاً عليها منطقة أرض العرب

حيث إن : A - صورة الفسيفساء - الموزائيك العالمية لسطح المريخ، موضحاً عليها المناطق الجنوبية المرتفعة (القارات - باللون الأسود) والمناطق المنخفضة الواقعة شمال الكوكب (حوض المحيط الشمالي - المكتوبة باللون الأبيض)؛ B - خارطة التضاريس العالمية للمريخ موضحاً عليها نطاقات المناطق المنخفضة (شمال الكوكب) والمناطق المرتفعة (جنوب الكوكب)، كذلك موضح أيضاً حدود الإنقسام الكوكبي (خط احمر - متصل ومتقطع) في كلا الشكلين، عن (Zachary, 2022).

تمثل منطقة أرض العرب، منطقة منخفضة الارتفاع نسبياً، تميل لأن تشبه مصطبة تتحدر برفق ضمن إرتفاعاتٍ متوسطة بين الأجزاء الشمالية من نطاق الأراضي المرتفعة للمريخ – Highlands جنوباً وحتى الأجزاء الجنوبية المرتفعة من نطاق الأراضي المنخفضة – Lowlands الواقعة في النصف الشمالي من المريخ، بواقع يتراوح بين (٠ إلى ٣٠٠٠ متر) وفقاً لبيانات 'MOLA' (Hartmann, 2005). ونظراً لأن هذه المقاطعة إستمّت بدرجة بياضٍ عالية ناتجة عن البقع البيضاء التي يعكسها سطحها، والناجمة بدورها عن ظهور خطوط قاتمة اللون على منحدراتها الشديدة بدايةً، لكنها سرعان ما تتغير بمرور الوقت من اللون القاتم إلى لونٍ أفتح، وقد يكون ذلك بسبب ترسب الغبار الناعم فاتح اللون من الغلاف الجوي عليها مما يكسبها لونها الفاتح القريب من الأبيض. كذلك يُعتقد بأن هذه الخطوط تتشكل في الأصل من الغبار الذي يتحرك منحدرًا نحو الأسفل بطريقةٍ تُشبهُ الإنهيارات الثلجية على الأرض (NASA/HiRISE/JPL-Caltech/University of Arizona State). لذلك، فقد تم تسمية هذه المنطقة من المريخ بـ أرض العرب – Arabia Terra على يد عالم الفلك الإيطالي (جيوفاني شياپاريلي – Giovanni Virginio Schiaparelli) في عام ١٨٧٩ لكونها أشبه بمنطقة شبه الجزيرة العربية.

تتسم منطقة أرض العرب بكثرة فوهاتها (الصدمية و البركانية)، فضلاً عن إنتشار الأخاديد وشبكات مجاري الوديان التي كان العديد منها يصب شمالاً في الأراضي المنخفضة التي كانت تمثل محيطاً مائياً كبيراً يوماً ما. تُحد منطقة أرض العرب من الشمال والشرق بحد الإنقسام الكوكبي^٢ – planetary dichotomy، كذلك ونتيجةً لإتسامها بوجود العديد من فوهات الحفر القديمة الموثقة، فإن ذلك يوفر فرصة للتحقيق في طبيعة الحدود الهيدرولوجية والمورفولوجية المهمة وغير الممثلة تمثيلاً كافياً من هذا الكوكب مثل البحيرات القديمة – Paleolake (Zachary, 2022)، الشبكات النهرية

المختلفة، الكثبان الرملية وبقية المظاهر الجيومورفولوجية المختلفة الأخرى ذات الأصول الهيدرولوجية أو ريحية المنشأ وغيرها، لذلك، تُعدُّ الكثبان الرملية، شياطين الغبار^٣ Dust Devils والحرافيش أو الياردانغ^٤ - Yardangs وغيرها من المظاهر التضاريسية ذات الاصل الريحي، دليلاً واضحاً على قوة وحجم النشاط الجيومورفي للرياح، وهو ما تم رصده من تحليل بيانات التحسس عن بعد، بالإضافة إلى التماس المباشر من خلال المركبات الجوالة على المريخ (Balme & Greeley, 2006; Tirsch et al., 2011). وبذلك، فإن هذا الامر يتناغم مع الهدف الرئيس من هذه الدراسة والمتمثل بتوصيف المظاهر الارضية المختلفة ومنها ذات المنشأ الهيدرولوجي او الريحي وغير ذلك، ضمن حدود المنطقة بشقيها الواقعين ضمن الأراضي المرتفعة (جزء كبير منها) والمنخفضة (جزء صغير) وربطها مع نتائج الدراسات السابقة لتحقيق افضل النتائج.

ولأجل الحصول على الدقة المُرتجاة تحقيقها لهدف البحث، كان لزاماً على الباحثين عند البدء بدراسة الأشكال الارضية المختلفة لأي منطقة كانت، سواءً على سطح الأرض أو على سطح كوكب آخر، أن يتطرقوا بشيء من التفصيل للجوانب الطبيعية لها، والمتمثلة بدرجة رئيسة ب جيولوجية تلك المنطقة ومن ثم طبوغرافيتها. ذلك، لأجل أن تتم عملية تشخيص وتحليل أشكالها الأرضية - الجيومورفولوجية المختلفة بدقة أكبر، وبالتالي الحصول على معرفة وتحليل أكثر واقعية عنها، لاسيما إن كانت دراسة الاشكال الأرضية تتم عن طريق وسائل الاستشعار عن بعد - Remote Sensing.

٢ . الخصائص الطبيعية للمريخ والمنطقة

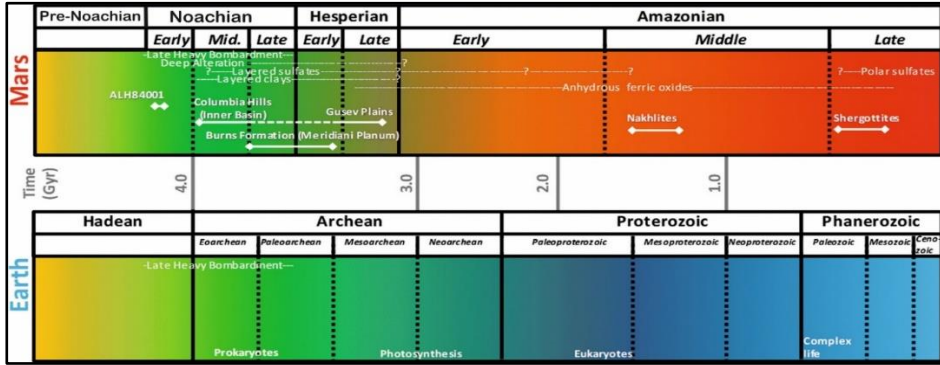
لقد أتاحت عمليات الاستكشاف المستمرة بمختلف الوسائل والتقنيات للكوكب الاحمر، إيجاد قاعدة بيانات مهمة جدا عن هذا الكوكب وبيئاته المختلفة (الحالية والسابقة)، والتي يمكن إيضاح أبرز خصائصها المؤثرة في تشكيل وتنوع التضاريس المريخية كما في ادناه نظراً لأهميتها الكبيرة في مثل هذا الموضوع.

١.٢. التاريخ الجيولوجي لكوكب المريخ

نظراً للأهمية البالغة لهذا الموضوع في تفسير وجود وتحليل تغير أشكال التضاريس المريخية منذ نشأة الكوكب الأحمر ضمن المجموعة الشمسية وحتى وقتنا الحاضر، فقد إهتمت هذه الدراسة بجمع البيانات الرئيسية عن ذلك والتي نجدها تتمثل بأربع فترات جيولوجية مريخية هي : فترة ما قبل النوشيان او ما قبل فترة نوح – Pre-Noachian ; فترة النوشيان او فترة نوح – Noachian ; فترة الهسبيريان – Hesperian والفترة الأمازونية – Amazonian.

١.١.٢. فترة ما قبل فترة نوح – Pre-Noachian :

تمتد هذه الفترة من وقت تكوين وظهور الكوكب في حوالي 4.6 - ٤.٥ مليار سنة من الان (Nyquist et al., 2001) إلى وقت نشأة وتطور الأراضي المنخفضة الشمالية لكوكب المريخ – نطاق حوض المحيط الشمالي للمريخ، بحدود ٤.١ مليار سنة من الان (Fery, 2006)، الشكل (٢).



الشكل (٢) المقياس الزمني الجيولوجي للمريخ مع مقارنته بالمقياس الزمني الجيولوجي للأرض، مع المقارنة بينهما بإظهار أبرز الأحداث الجيولوجية – الحياتية لتلك الحقب وفقاً لـ (Tanaka & Hartmann, 2012; Perl et al., 2021)، حيث إنه وخلال الفترات التي تطورت فيها الحياة الأولى على الأرض، كان سطح المريخ أكثر دفئاً ورطوبة وصالحاً للسكن، حيث كانت المياه السائلة موجودة على سطح المريخ

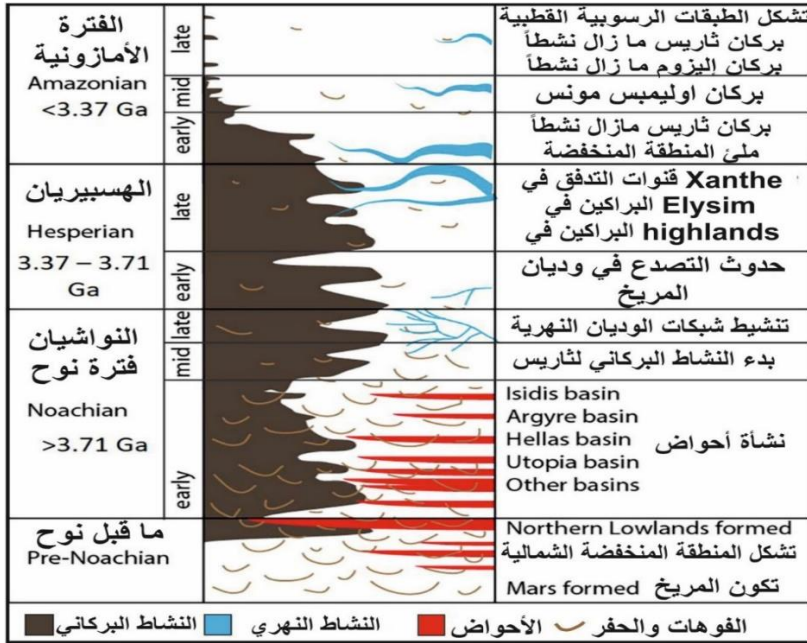
٢.١.٢. فترة النواشيان او فترة نوح - Noachian :

سُميت بذلك إعتماً على تسمية منطقة **Noachis Terra** التي تعني (أرض نوح - **Land of Noah**) وهي منطقة تمتاز بكونها مليئة بالفوهات مختلفة الأصل ذات الحافات شديدة الانحدار. تبدأ هذه الفترة منذ نحو ٤.١ مليار سنة وحتى نحو ٣.٧ مليار سنة من الآن (**Hartmann & Neukum, 2001**)، وهي متوافقة زمنياً مع حقبة **Hadean** الأرضية. يلحظ بأن أقدم نشاط تكتوني في القشرة المريخية والانشطة الجيولوجية عموماً قد تم تسجيلها ونسبتها لحقبة **Early Noachian** ، وهي الفترة الزمنية التي تميزت بتشكيل الإنقسام الكوكبي لسطح المريخ وظهور الأراضي المنخفضة (المحيط الشمالي للمريخ) كنتيجة للتنشيط التكتوني بسبب الحمل الحراري الطويل للجبة -**long-wavelength mantle** او جراء الإصطدام المذنب، كما تضمنت هذه الحقبة الجيولوجية تأثيرات أخرى على القشرة المريخية، تعرية نهريّة كبيرة، فضلاً عن نشاط بركاني مرتبط بتكوين ارتفاع منطقة تارسيس (**Nimmo & Tanaka, 2005**). ومما يجدر بالذكر، بأن أشكال الحُفر الصدمية المميزة لسطح المريخ، قد نتجت جراء التصادم عالي السرعة بين الكواكب والمذنبات والكويكبات التي تدور حول الشمس مع سطح المريخ (**Melosh & Vickery, 1989**). ويُظهر السجل القمري أنه قبل نحو ٣.٥ مليار سنة من الآن، كان معدل تكوين الحفر أعلى بشكل كبير من التاريخ الجيولوجي لهذه الأجرام السماوية، وهو ما يُعرفُ بـ **heavy bombardment**، الذي يُعتقد أنه قد إنتهى تقريباً قبل حوالي ٣.٨ مليار سنة من الآن (**Hartmann & Neukum, 2001**). أيضاً، تُشير العديد من الدراسات عن إن البراكين ربما تكون قد بدأت منذ وقتٍ مبكرٍ جداً من تاريخ الكوكب الأحمر، وربما هي ما زالت تحدث حتى يومنا هذا، فخلال حقبة **Pre-Noachian** ربما كانت منطقة **Tharsis** - تارسيس قد بدأت بالتراكم والارتفاع وقتذاك. عموماً، وبصورة مؤكدة، فقد كانت هذه البراكين منتشرة على سطح المريخ ونشطة خلال حقبة **Noachian** (**Carr and Head, 2010**). فيما تتشابه معظم البراكين الكبيرة المتشكلة على سطح المريخ

مع براكين الدروع الأرضية، والتي تتشكل في الغالب من ثوران الحمم البازلتية السائلة نسبياً (Greeley et al., 2005). كما حدثت التأثيرات التكتونية الكبيرة التي أدت إلى تكوين الأحواض الضخمة مثل حوض هيلاس - Hellas وغيره، فيما تُشير عمليات التفاعل بين المياه وبعض مركبات السليكات في هذه الحقبة إلى حدوث تفاعل طويل الأمد بين الماء السائل وصخور القشرة المريخية. بينما يكشف توزيع الوديان وشبكات مجاريها والبحيرات الداخلية القديمة في المرتفعات الجنوبية من المريخ، إلى الظروف المناخية السابقة للكوكب والتي حافظت على وجود وتدفق المياه السائلة على سطحه، كما إن معظم البحيرات المعروفة قد تم تغذيتها عن طريق هطول الأمطار والجريان السطحي (Bibring et al., 2006; Craddock, & Howard, 2002; Fasset & Head III, 2008).

عموماً، ففي نهاية فترة Noachian، لوحظ انخفاض معدلات تأثيرات التعرية والعوامل الجوية الأخرى، فضلاً عن القوى التي شكلت الوديان والمجاري النهرية بدرجة كبيرة جداً، ضمن الحدود الزمنية لعصر Late - Noachian و Early - Hesperian، إذ تم وقتذاك كبح قوى الأنشطة التعرية المائية بدرجة كبيرة حتى كادت تتوقف، إلا إنها لم تتوقف تماماً (Fasset & Head III, 2008).

الشكل (٣).



الشكل (٣) مخطط يوضح تسلسل بدايات الأحداث الجيولوجية الرئيسة وفقاً للمقياس الزمني الجيولوجي للمريخ، وفقاً لـ (Howari et al., 2021)

٣.١.٢. فترة الهسبيريان – Hesperian :

إشتقت هذه التسمية من تسمية منطقة مرتفعات معتدلة باعداد الحفر الصدمية وغيرها وهي منطقة **Hesperia Planum**. فيما تمتد هذه الفترة الجيولوجية من نهاية القصف الثقيل للنيازك على سطح الكوكب عند حوالي ٣.٧ مليار سنة من الان، وهي بذلك تكون مترامنة تقريباً مع العصر الآركي - **Archean** الاسفل ضمن السلم الجيولوجي لكوكب الارض وتنتهي عند حوالي ٣.٣٧ مليار سنة من الان (Hartmann & Neukum, 2001)، الشكل (٢). كذلك، تمتاز هذه الفترة بالنشاط التكتوني الذي فرض سيطرته عند اوائل هذه الفترة على معظم سطح الكوكب الاحمر. كما ان تكوين الفوهات البركانية الكبيرة تعد إحدى مظاهر هذه الفترة، لذلك يمكن القول ان البراكين قد تجلت بوضوح خلالها (Carr and Head, 2010; Tanaka et al., 2014).

ونتيجةً للنشاط التكتوني بالإضافة إلى حدوث الفيضانات العارمة مع الإنزلاقات الأرضية التي نتج عنها تشكل الكثير من المظاهر التضاريسية المريخية الفوضوية على نطاقٍ واسع، مما تسبب بعودة ظهور تضاريس فترة **Noachian** على نطاقٍ واسعٍ أيضاً. عموماً، فإن معظم القنوات المائية الكبيرة على سطح المريخ ترجع لهذه الفترة، المدرجات النهرية. كذلك، يبرز بوضوح نشاط التجوية الكيميائية الناتجة عن وجود المياه (Tanaka, 2005; Bibring et al., 2006).

٤.١.٢. الفترة الأمازونية – Amazonian :

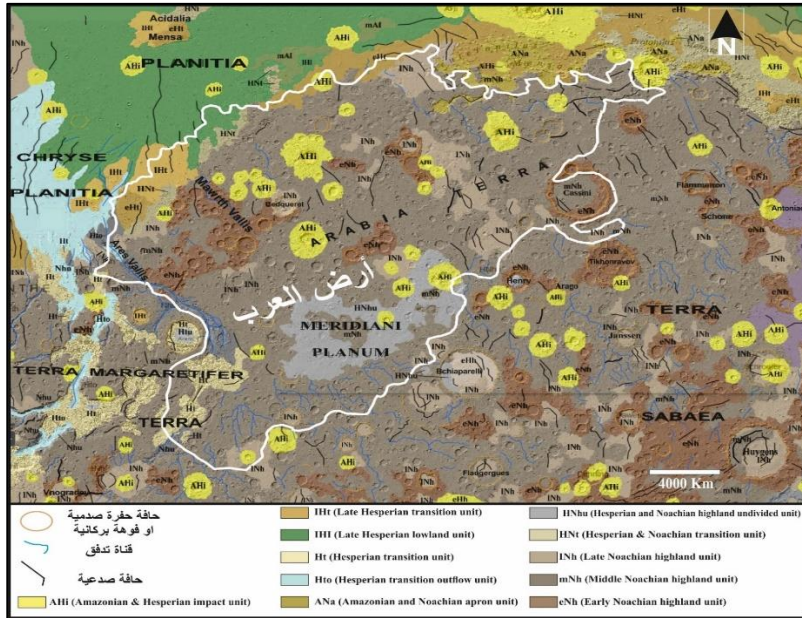
الفترة الأمازونية هي أطول فترة جيولوجية على سطح المريخ وتمتد من ٣.٣٧ مليار عام حتى الآن، وهي تتأخر تقريباً منتصف حقبة **Archean** الأرض حتى الوقت الحاضر. كذلك، فقد شهدت هذه الفترة معدلات تعرية منخفضة للغاية مقارنة بالفترتين السابقتين (Hartmann & Neukum, 2001). فيما استمر النشاط البركاني فيها، إلا إنه إقتصرت إلى حدٍ كبير على براكين الدرع الكبيرة في منطقتي **تارسيس** و**الإليزيوم** (Jaumann et al., 2014).

عموماً، يتميز مناخ الأمازون بشكل أساسي بأنه بارد وجاف في ظل الظروف المناخية الحالية للمريخ، وقد لوحظ وجود جليد مائي وسماتٍ أخرى ذات صلة بالأنهار الجليدية على سطح المريخ ضمن نطاقَي دائرتي عرضٍ مختلفين (دوائر العرض العليا والوسطى) (Carr, 2007). كذلك، يُلاحظ أنه في مناطق دوائر العرض المتوسطة في كلا نصفي الكرة الأرضية، توجد ١٠ طبقات سمكية من خليط الجليد والغبار التي تُعرف بتسمية (الوشاح) (Mustard, Cooper & Rifkin, 2001). كما إن هناك سمة أخرى حديثة جداً وذات صلة محتملة بالمياه على سطح المريخ وهي **الأخاديد - gullies** (Malin & Edgett, 2000).

تشير الدراسات المتعلقة بتحديد عُمر المظاهر التضاريسية المريخية المختلفة، إلى إن المسطحات المائية، والتغيرات ذات الصلة بها وعمليات التعرية، قد حدثت قبل العصر الأمازوني المبكر – **early Amazonian epoch**.

٢.٢. جيولوجية منطقة أرض العرب - Arabia Terra

تشكل الطبقات الصخرية العائدة لوحداث فترة النواشيان (فترة نوح) - Noachian وهي اقدم الوحدات الجيولوجية المتكشفة على سطح منطقة أرض العرب - Arabia Terra , فيما لا تظهر لفترة ما قبل النواشيان (قبل نوح) - Pre-Noachian اي تكشف صخري لها في هذه المنطقة . فيما تُغطي صخور وحدة النواشيان الاوسط - Middle Noachian Unit (mNh) معظم أجزاء منطقة أرض العرب, فيما تظهر تكشفات صخرية عائدة للوحدات الصخرية المبكرة والمتاخرة من فترة النواشيان (Early & Late Noachian Unit) _ (eNh & INh) في اجزاء اخرى تشمل معظم المنطقة, كما موضح في الشكل (٤).



الشكل (٤) خارطة جيولوجية منطقة الدراسة بمقياس ١:٢٠ وفقاً لـ (Tanaka et al., 2014; USGS [Site])

في حين يمكننا ملاحظة الإنقطاع الذي يحصل في المناطق الشمالية الشرقية من ارض العرب بوضوح, نظراً لكون هذه المناطق تمثل بدايات حد الإنقطاع الكوكبي بين الأراضي المريخية الجنوبية المرتفعة - Highlands المنخفضة - Lowlands. فيما تتكشف التكوينات الصخرية العائدة لفترة الهسبيريان

Hesperian – ضمن اجزاء متفرقة من المنطقة, حيث تظهر تكشفات الوحدة الصخرية هسبيريان – نواشيان الاراضي المرتفعة [HNt] (Hesperian – Noachian Lowland) بشكل واضح وكبير في الجزء الجنوبي الشرقي من المنطقة , تحديدا ضمن (Meridiani Planum). بينما تظهر تكشفات صخرية محدودة لوحدة هسبيريان الإنتقالية (Ht) ضمن الأجزاء الجنوبية الغربية من المنطقة.

أما وحدة الهسبيريان المتأخر (IHt) فإن تكشفات الصخرية تتواجد بوضوح في وسط الأجزاء الشرقية من أرض العرب. فيما تنتشر تكشفات وحدة الهسبيريان المتأخرة – الاراضي الشمالية المنخفضة (IHI) بشكل واسع جداً خارج منطقة أرض العرب, حيث إنها تغطي معظم الاجزاء الشمالية للاراضي المريخية المنخفضة (حوض المحيط المريخي الشمالي), ولا يظهر لها ضمن منطقة الدراسة سوى تكشف جزء صغير جدا في الجهات الشمالية الشرقية من أرض العرب, كما موضح في الخارطة الجيولوجية للمنطقة. وتتكشف وحدة التدفق الإنتقالية للهسبيريان (Hto) التي تظهر صخورها بمجملها خارج منطقة الدراسة, متمثلة بالأجزاء المنخفضة لمجرى وادي إريس – Ares Vallis ممتدة بدورها صوب الأراضي المريخية المنخفضة شمالاً.

أما الوحدات الجيولوجية الأحدث المتمثلة بوحدات فترة الأمازون, فإنها تتكشف ضمن بقع دائرية محيطة بالحفر الصدمية او حفر الفوهات البركانية القديمة, متمثلة بوحدة الأمازون – هسبيريان (AHi) التي تنتشر في اجزاء كثيرة من منطقة الدراسة. يلحظ بأن الطبقات الصخرية الخاصة بهذه الوحدة تظهر تحديدا وهي محيطة بالحفر او الفوهات البركانية وهو الامر الذي يقود للإستنتاج أنها صخور بازلتية ناشئة عن تدفق اللافا البازلتية خلال اواخر الهسبيريان وبدايات الأمازونيان, لاسيما وانها تمثل التكوينات الصخرية الأحدث المتكشفة في أرض العرب (دروع بازلتية).

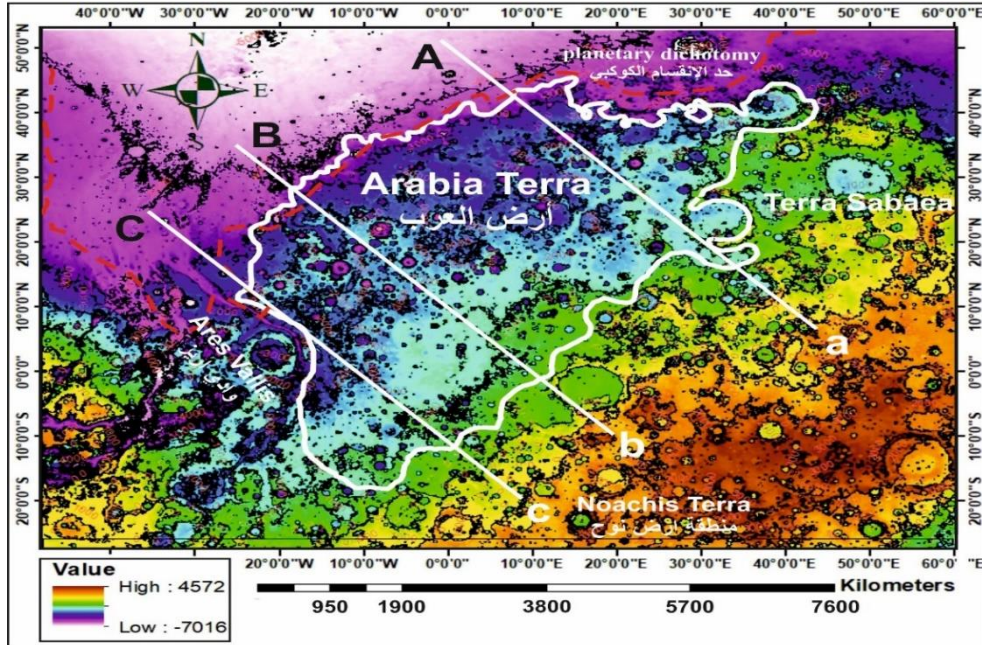
يظهر ايضاً, إنتشار واضح للمجري المائية القديمة في ربوع المنطقة, مما يعكس طبيعة النشاط الهيدرولوجي السابق لبيئاتها مع تركيز واضح لها ضمن الأجزاء الجنوبية الشرقية والشرقية المحاذية لمجرى وادي إريس – Ares Vallis, الامر الذي يدل على إتخاذ

الرسم الخرائطي والتحليل الجيومورفولوجي للأشكال التضاريسية المختلفة في منطقة أرض العرب - Arabia Terra - كوكب المريخ

هذه الوديان لمجرى وادي إريس كمصب لتصريف مياهها سابقاً نحو الأراضي الشمالية المنخفضة من الكوكب - Mars Lowlands (حوض المحيط المريخي الشمالي). وقد تركت النشاطات التكتونية بصمتها الجيولوجية المتميزة ظاهرة على سطح المنطقة، وهو ما يمكن ملاحظته من تتبع إنتشار الحافات الصدعية - Ridge في أجزاء كثيرة منها، كما موضح في الشكل (٤) .

٣.٢. طبوغرافية منطقة أرض العرب - Arabia Terra

يتضح من الخارطة الطبوغرافية للمنطقة (الشكل ٥) بأن سطح منطقة أرض العرب - Arabia Terra - يظهر عموماً بشكل يكاد يكون مستوياً ومنحدرًا بدوره صوب الأراضي المريخية المنخفضة الشمالية. حيث تظهر معظم مساحتها دون الصفوح حتى أقل من ٣ كم عن مستوى الصفر (مستوى سطح البحر)، لاسيما عند أجزائه الشمالية الشرقية المحاذية للحد التكتوني الكوكبي الفاصل بين الأراضي الجنوبية المرتفعة عن الأراضي الشمالية المنخفضة.

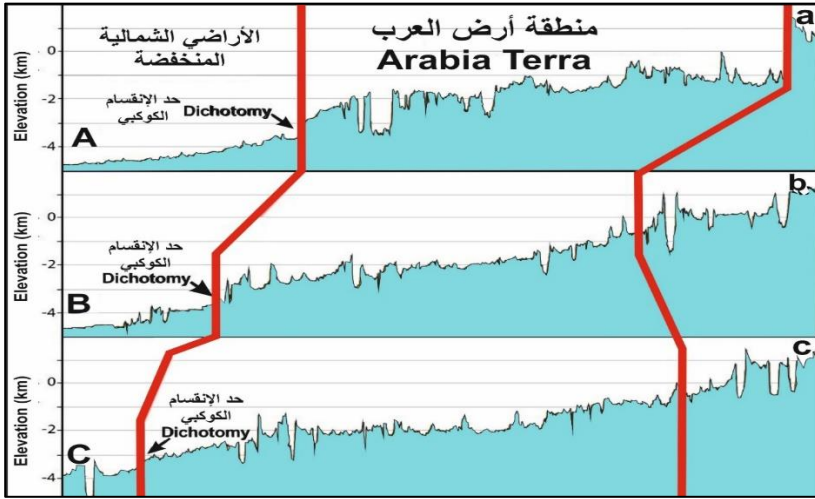


الشكل (٥) خارطة طبوغرافية منطقة أرض العرب - Arabia Terra

وفقاً لـ (Zachary, 2022; NASA/JPL/GSFC/Arizona State University)

(University) - بتصرف، مع تحليل بيانات الارتفاعات الرقمية (DEM) للمنطقة باستخدام ArcGIS 10.8

كما يلاحظ، بأن قيعان الحفر الصدمية أو البركانية تتخفض أكثر من ٣ كم لتبلغ نحو أكثر من ٤ كم، وهو ما أهلها لأن تصبح بيئة خاصة بما تضمه من أشكال أرضية فضلاً عن نظام مائي - هيدرولوجي مميز لها، لذلك فإن شبكات الوديان المحفورة في طبقاتها الصخرية المختلفة، والتي تظهر بصورة متفرقة في جميع أنحاءها، تكون منتشرة على نطاق واسع بالقرب من حد الانقسام الكوكبي، وتنتهي جميعها تقريباً عند حافة الأراضي المنخفضة حتى إن بعضها يشكل مراوح رسوبية مختلفة الأحجام (Zachary, 2022)، عموماً، فإن المظهر الطبوغرافي لحد الانقسام الكوكبي (planetary dichotomy) في منطقة أرض العرب يكون متضخماً، حيث يظهر على شكل منحدر مرتفع شديد الانحدار في الشمال، مع تناقص البروز جنوباً ليصبح فيما بعد منحدرًا معتدلاً عند (Ares Vallis)، كما موضح في الشكل (6).



الشكل (٦) المقاطع الطبوغرافية لمنطقة (أرض العرب - المحددة ضمن الخطوط الحمراء) بحسب ترتيبها في (الشكل ٥)، المخطط بتصرف عن (Zachary, 2022; MOLA topography data).

٣ . جيومورفولوجية منطقة أرض العرب - Arabia Terra

لم يُعد خافياً ان العمليات الجيومورفولوجية - الهيدرولوجية قد ساهمت بتشكيل الكثير من التضاريس المريخية , لاسيما للفترة الزمنية الجيولوجية الممتدة بين عصر النواشيان المتأخر (Late Noachian) وحتى نهاية عصر الهسبيريان (Late Hesperian), رغم أن الماء ظهر مرةً أخرى على سطح المريخ مراراً وتكراراً بمرور الوقت, بالرغم من تناقص وفرته بعد نهاية عصر الهسبيريان و بداية عصر الأمازون . بينما لعبت عناصر التجوية والتعرية المناخية الأخرى (مثل الرياح, الحرارة) دورها بتأثير كبيرٍ وواضحٍ خلال اطول عصور المريخ الجيولوجية المتمثلة ب عصور الأمازون (Amazonian ages), ولا يخفى الدور الذي لعبته القوى التكتونية في تشكيل وتنوع المظاهر الجيومورفولوجية المريخية (الحركات التكتونية, البراكين وغير ذلك). إن عمل هذه القوى مجتمعة ولآلاف الملايين من سنين التاريخ الجيولوجي للمريخ, قد أدى إلى تشكيل العشرات وربما المئات من المظاهر الجيومورفولوجية على سطح الكوكب الأحمر عموماً وعلى سطح منطقة أرض العرب - Arabia Terra خصوصاً. ومما يمكن ملاحظته وجود تشابه كبير بين هذه الاشكال التضاريسية المريخية وتوائمها على الارض. يُذكر ان, هناك إمكانية لوجود مظاهر جيومورفولوجية مريخية لا تُشابه ما أنتجته القوى الجيومورفولوجية على سطح الأرض, وربما يرجع سبب ذلك إلى فهمنا ومشاهدتنا للأشكال التضاريسية الارضية الحالية فقط التي يمكن ان تشابه تلك التضاريس التي ظهرت على سطح المريخ خلال الازمنة التي لم يختف الماء منها كما هو الحال في الفترة الامازونية الحالية.

١.٣. أبرز المظاهر الجيومورفولوجية للمنطقة

نظراً للتنوع والتعدد الكبير لهذه المظاهر الجيومورفولوجية، فقد تم التركيز على أكثرها شيوعاً وانتشاراً في مقاطعة أرض العرب المريخية، لاسيما تلك التي لها أحجام معتد بها يمكن تمثيلها على هكذا نوع الخرائط الإقليمية الواسعة.

١.١.٣. المظاهر الجيومورفولوجية التي شكلتها التعرية المائية - الجليدية : تنقسم الأشكال التضاريسية ذات الأصول الناتجة عن العمل الجيومورفولوجي للمياه، على شقين رئيسيين يتمثلان بتلك التي تظهر منها على سطح المنطقة بصورة عامة، والثانية تلك التي تشكلت داخل الحفر المنتشرة على سطح المنطقة المختلفة بالحجم والمساحة. في هذه الدراسة وبالإعتماد على نتائج الدراسات السابقة أيضاً، فقد أمكن تحديد العديد من الأشكال التضاريسية ذات أصول ناتجة عن عمل التعرية المائية بمختلف حالاتها (الصلبة ، السائلة والغازية)، وهي تتمثل بـ

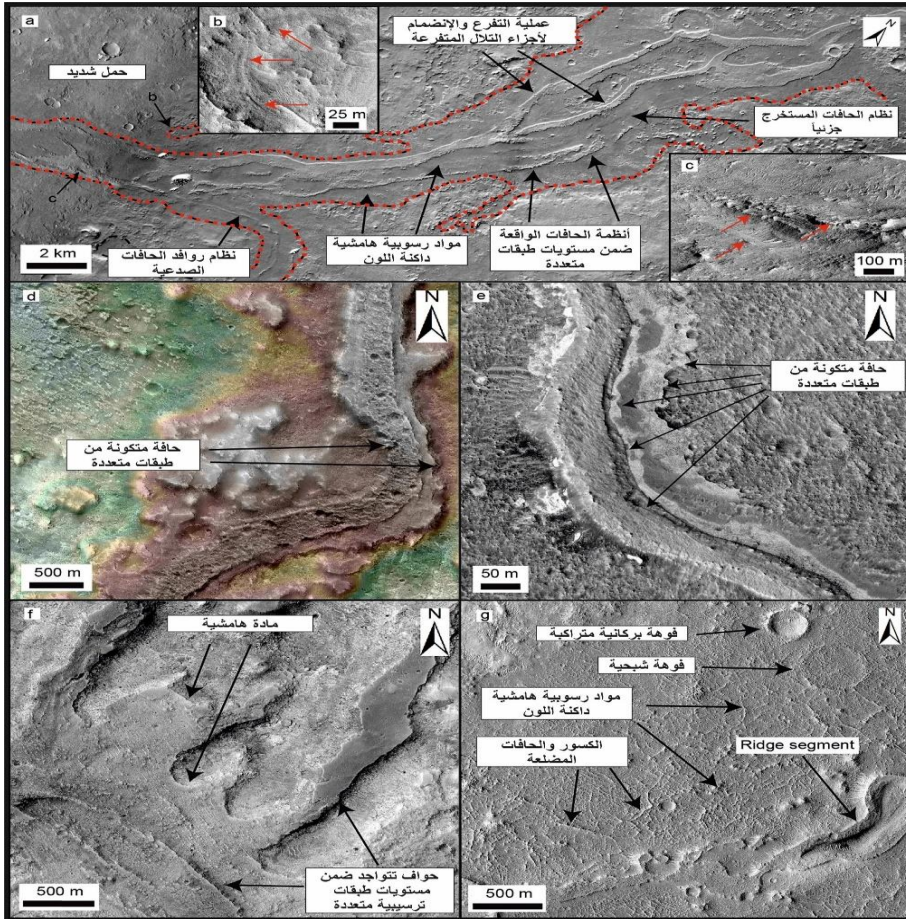
١ - الأشكال التضاريسية المتشكلة خارج الحُفر الصدمية والفوهات البركانية : تتمثل هذه بدورها بالمجاري المائية لوديان المنطقة وتفرعاتها (الشبكات المائية للوديان)، فضلاً عن أنظمة الترسيب الانسيابي ، ٥٠-١٠٠ متر في سمك طبقي ، شائعة في هذه المنطقة، حيث تمثل هذه الرواسب الناتج الجيومورفولوجي لعمل الأنهار السابقة (التي يبلغ طولها من ١٠٠-٢٠٠ كم على أقل تقدير) ، السهول الفيضية، والبحيرات كما توجد أيضاً ترسبات ذات أصول مائية تملأ الوديان والأحواض النهرية كترسبات التلال المتفرعة والمتعرجة (رواسب القناة المقلوبة)، كما موضح في الشكل (٧).

لقد كانت هذه الأنهار نشطة منذ حوالي ٣.٧ مليار سنة وانتقلت وترسبت الرواسب عبر منطقة الدراسة، أما على الأرض، فتستغرق الأنهار عادةً ما بين ٥٠٠٠٠ و ١٠٠٠٠٠٠ سنة لتكوين مثل هذه الرواسب السمكية . عموماً، تعرضت رواسب الأنهار هذه إلى عوامل تعرية ادت إلى نحتها على شكل تلال، ومن المحتمل أن يكون تكوين هذه الأنهار والبحيرات في منطقة أرض العرب المريخية ناتجاً عن التعرية المطولة والعرضية الناجمة عن هطول الأمطار (Davis et al., 2019). كذلك يمكن تمييز

الرسم الخرائطي والتحليل الجيومورفولوجي للأشكال التضاريسية المختلفة في منطقة أرض العرب - Arabia Terra _ كوكب المريخ

اشكال جيومورفولوجية اخرى ناتجة عن العمل الجيومورفولوجي للمياه والجليد متمثلة بـ (الصخور المنقخة التي تشبه الهضاب والتلال، ترسبات الوشاح والوشاح المبطن، الوديان المتعرجة، التلال المتعرجة التي تنشأ في الاصل عن ترسبات الوديان المتعرجة، التضاريس المفصصة المتراكبة وغير ذلك .

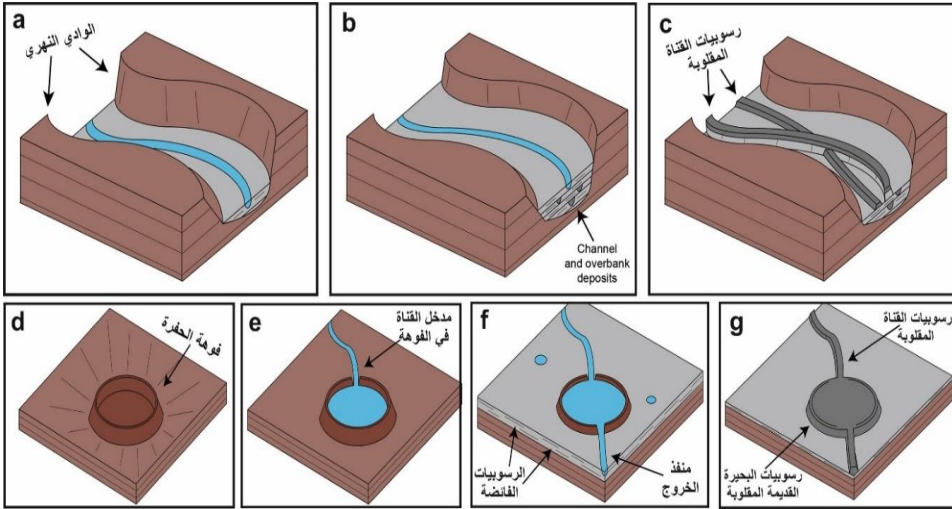
٢ - الأشكال التضاريسية المُتشكلة داخل الحفر الصدمية والفوهات البركانية نتيجة العمليات الهيدرولوجية: لقد أنتج وجود الحفر الصدمية والفوهات البركانية بيئة مهمة تكاد تكون مغلقة , مما يمكنها من الإحتفاظ بالمياه او الجليد والرطوبة لفترات طويلة, مما يعزز من استمرار عمليات التفاعل بين الماء والصخور وإنتاج رسوبيات مميزة.



الشكل (٧) مجموعة أمثلة على أنظمة التلال المتفرعة والمتعرجة في أرض العرب، وفقاً لـ

(Davis et al., 2019)

حيث إن: (a) تمثل فسيفساء لنظام قناة مقلوبة ومكشوفة داخل نافذة تعرية -تآكل (الخطوط الحمراء المتقطعة); (b) تظهر صورة HiRISE طبقات فرعية دقيقة مكشوفة في الرواسب الهامشية للتلال (تشير لها الأسهم الحمراء); (c) صورة مشتقة من HiRISE DEM, تُظهر طبقات فرعية مكشوفة في هوامش التلال; (d) نظام التلال المكون من طبقات متعددة; (e) صورة من HiRISE لنظام التلال المكونة من طبقات متعددة ذات مقاومة تعرية - تآكل مختلفة; (f) صورة من HiRISE للتلال ذات الحواف بمستويات مختلفة; (g) صورة من HiRISE تُظهر التضاريس المضلعة الهامشية لأنظمة التلال المحتوية على أنماط معقدة من الكسور والحافات المضلعة كذلك فإن عمل المياه خارج هذه الأشكال الأرضية يؤدي في أحيان كثيرة إلى إختراقها بمجري الوديان وإدخال هذه البيئات المغلقة ضمن الدورة التعرية المحيطة بها , الشكلين (٨ , ٩). بالإضافة إلى ظهور الأخاديد والحافات الصخرية المختلفة _ Edge Rim) وغيرها من الأشكال التضاريسية الأخرى.

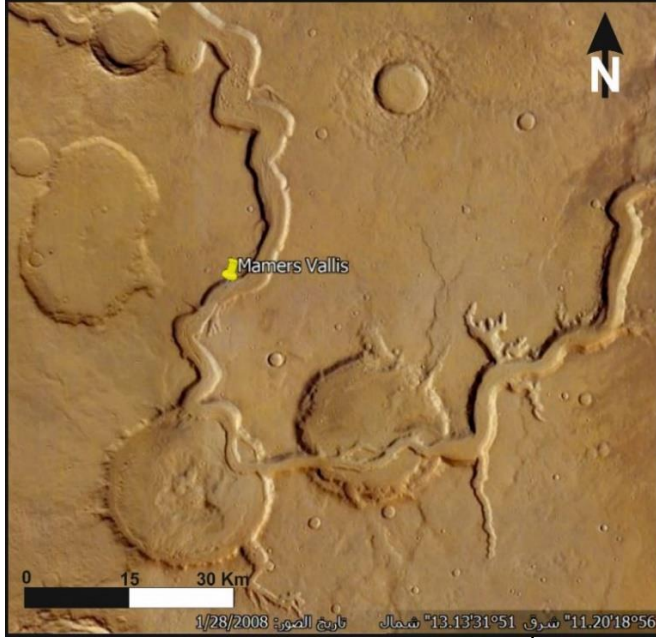


الشكل (٨) مخطط يوضح التطور المفسر لشبكات الوادي المملوءة جزئياً (a - c), و (d - g) رواسب البحيرات القديمة المقلوبة, وفقاً لـ (Cardenas et al., 2017; Davis et al., 2019)

حيث إن: (a) شق يؤدي إلى تكوين وادي نهر; (b) التغيرات المحتملة في الرواسب أو تدفق المياه ، أو كنتيجة لتغير ارتفاع مستوى القاعدة , فإن كل ذلك يؤدي إلى إمتلاء الوادي برواسب حزام القناة; (c) بعد توقف نشاط الأنهار، تؤدي عملية تعرية المواد الفائضة إلى إخراج رواسب القناة ، وتشكيل رواسب القناة المقلوبة داخل الوادي; (d)

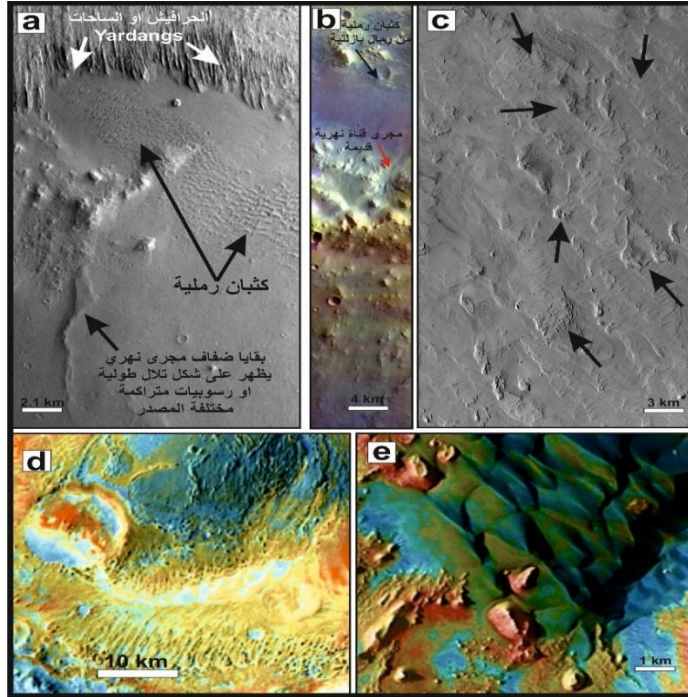
الرسم الخرائطي والتحليل الجيومورفولوجي للأشكال التضاريسية المختلفة في منطقة أرض العرب - Arabia Terra _ كوكب المريخ

شكل الفوهة الصدمية أو البركانية; (e) النشاط الانسيابي يؤدي إلى تآكل وتعرية الحفرة وتشكيل بحيرة الفوهة الصدمية أو فوهة البركان; (f) بسبب الرواسب التي تعلو ضفة المجرى أو لتراكم الرواسب الأخرى, فضلاً عن حدوث التشققات في جدار حافة الفوهة, فذلك يؤدي إلى تشكل قناة المخرج; (g) بعد توقف العمليات الجيومورفولوجية النهرية, تتآكل المواد الموجودة على ضفاف النهر, مما يؤدي إلى إخراج رواسب القناة المنتفخة ورواسب البحيرة, والتي تشكل بالتالي ظاهرة القناة النهرية المقلوبة ورواسب البحيرات القديمة – Paleolake deposits



الشكل (٩) مرئية فضائية تظهر إختراق وادي ماميرز لعدة حفر صدمية (Google Earth) يجدر بالذكر أيضاً, فإن غالبية البحيرات المتشكلة ضمن الأحواض المفتوحة تُعد بدورها جزءاً من سلسلة بحيرات متكاملة تشكلت خلال الأزمنة الجيولوجية الرطبة, وبذلك فإن إجراء القياسات المورفولوجية لهذا النمط من البحيرات ومنافذها سيساهم بتحديد الحد الأدنى من المياه اللازمة لملئها, علماً بأن هكذا بُحيرات كبيرة المساحة والتي تشكلت عند الأزمنة الأولى للمريخ تماثل بحجمها لأكبر أحواض البحيرات أو البحار الصغيرة المغلقة على كوكب الأرض. الامر الذي يقود إلى إستنتاج مهم مفاده, بما ان منطقة مستجمعات المياه تتناسب طردياً مع حجم البحيرات المتكونة عنها, فإن ذلك يُشير إلى أن معظم البحيرات المريخية قد تم تغذيتها عن طريق هطول الأمطار والجريان السطحي. في بعض الحالات, بما يقع ضمن ذلك أكبر البحيرات أيضاً, يبدو أن من الممكن ان تكون المياه الجوفية مصدراً مهماً قد عمل على ملئها, كذلك فإن عملية معرفة التوزيع الجغرافي لمثل هذه البحيرات والأشكال التضاريسية المريخية يشكل مزيجاً معقداً كنتيجة لتغير موقع البحيرة الأولى بسبب عمليات الدفن والمحو اللاحقين (Fassett & Head III, 2008).

٢, ١, ٣. المظاهر الجيومورفولوجية التي شكلتها الرياح والتباين الحراري : على مدى مليارات السنين ، اجتاحت الرياح أقدم الأشكال التضاريسية الطبيعية للمريخ ، وألقيت بالتناوب الرمال والأترربة وغيرها من الحطام - مؤديةً إلى تعريتها وتآكلها بشدة، في دورةٍ لا نهاية لها من عمليات الدفن لهذه المظاهر واستخراجها مرةً أخرى والعمل على نحتها وتعريتها. ونظراً لأن الفترة الامازونية تشكل الجزء الأكبر من التاريخ الجيولوجي للمريخ، وهي بدورها تُعد فترة جافة لبيئة هذا الكوكب، فمن البديهي ان تظهر على سطحه مظاهر جيومورفولوجية ذات اصل ريحي مثل (الكثبان الرملية، الحرافيش او الساحات، الفتات الصخري، التدفق اللزج الناتج عن إنخفاض درجات الحرارة ، الخطوط السوداء التي تتركها شياطين الغبار وما ينتج عنها من اثر جيومورفولوجي ايضاً، نحت او نقش السكين – Carving Knife وغير ذلك)، الشكل (١٠).



الشكل (١٠) مجموعة من الاشكال الجيومورفولوجية الناشئة عن عمل الرياح والتباين الحراري ضمن منطقة أرض العرب – المريخ

حيث إن: (a) الحرافيش او الساحات والكثبان الرملية؛ (b) كثبان رملية من أصولٍ بازلتية ، ومجرى نهرٍ قديم يوحي ذلك بالعمل المشترك لعوامل التعرية المشتركة في رسم جيومورفولوجية الكوكب الاحمر؛ (c) حرافيش – Yardangs تظهر بكثافة عالية؛ (d) ظاهرة نقش السكين التي تظهر في الجزء الجنوبي الغربي من ارض العرب؛ (e) الكثبان الرملية الداكنة المشتقة على الأرجح من صخور البازلت، من الشكل يشير

إلى أن الرياح الرئيسية التي تشكلها قد هبت من الشمال الغربي (أعلى اليسار). تعطي الرياح للكثبان شكلاً غير متماثل، حيث إن أعلى نقاط هذه الكثبان الرملية ترتفع بحوالي ٢٠٠ إلى ٢٥٠ مترًا. فيما يُشيرُ اللون المصفر على وجوه الكثبان الرملية الجنوبية الغربية إلى أن رمال الكثبان تكون أكثر دفئًا في هذا الجانب، وقد يُشيرُ هذا في هذا الجانب إلى أن الجزيئات الأكبر تحتفظ بالدفء المتبقي من شمس الظهيرة

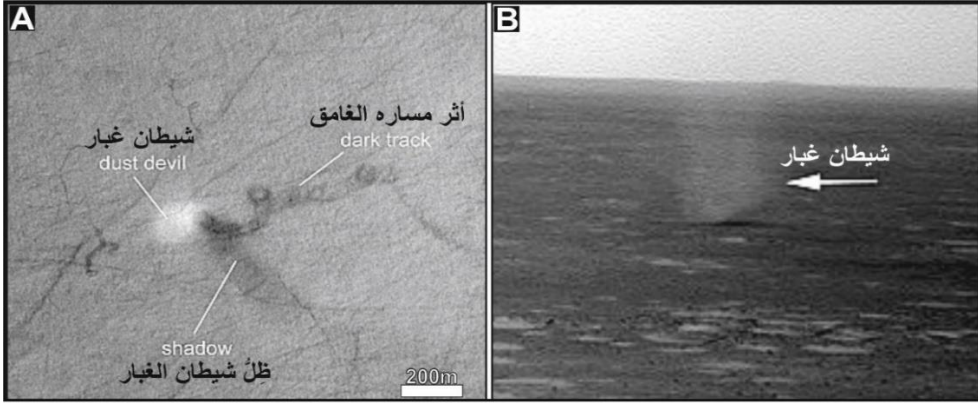
كما يُلاحظ بان هذه الاشكال التضاريسية، من الممكن ان تكون قد ترسبت أصلاً عن طريق الرياح أو الماء أو كليهما معاً، ومهما كانت الحالة فقد تمت إزالة تلك الطبقات جزئياً بنمط معين يقدم دليلاً على كيفية تأكلها. كذلك، تلعب الرياح الباردة دوراً كبيراً في تشكيل جيومورفولوجية سطح المريخ، فهي تعمل على ان تقطع الطبقات المختلفة كالسكين في المناطق الصحراوية على كوكب المريخ. يجدر بالذكر ايضاً، فإن الرياح تبني كثباناً رملية لأنها تحمل جزيئات مختلفة من الرمال والحصى في اتجاه الريح ، مما يؤدي إلى تكديسها واحدة تلو الأخرى في أكوام متحركة ببطء، وعندما تكون الأرض ناعمة بدرجة كافية، لا تتراكم هذه الحبيبات (مختلفة الحجم والنوع) التي تحركها الرياح - فهي تحفر السطح وتحت فيه أشكالاً تضاريسية غالباً ما تُشكل حوافاً طويلة ومبسطة وهي التي يسميها الجيولوجيون بـ الحرافيش او الساحات - Yardangs ، حيث ترتفع هذه الحرافيش او الساحات الموجودة داخل او خارج الحفر الصدمية او البركانية بحوالي ٢٠ مترًا، وقد تظهر متباعدة على بعد كيلومتر واحد تقريباً عن بعضها البعض

(NASA/THEMIS/Arizona State University: Winds and Streaks)

(of Arabia).

ولا يخفى، فإن تأثير الرياح هو الأكبرُ حالياً بصفتها عاملاً جيومورفولوجياً رئيساً في تغير مظاهر سطح المريخ، لاسيما بعد إنحسار تأثير العامل الأكبر المتمثل بالمياه منذ بدايات عصر الأمزون وحتى اليوم. الامر الذي يمكن ملاحظته بوضوح كبير من متابعة ظاهرة مهمة للرياح مقارنةً بغيرها، وهي ظاهرة شياطين الغبار ° - Dust devil ،

الشكل (١١) .



الشكل (١١) صور توضح ظاهرة وحركة شياطين الغبار على سطح المريخ, عن (Balme & Greeley, 2006)

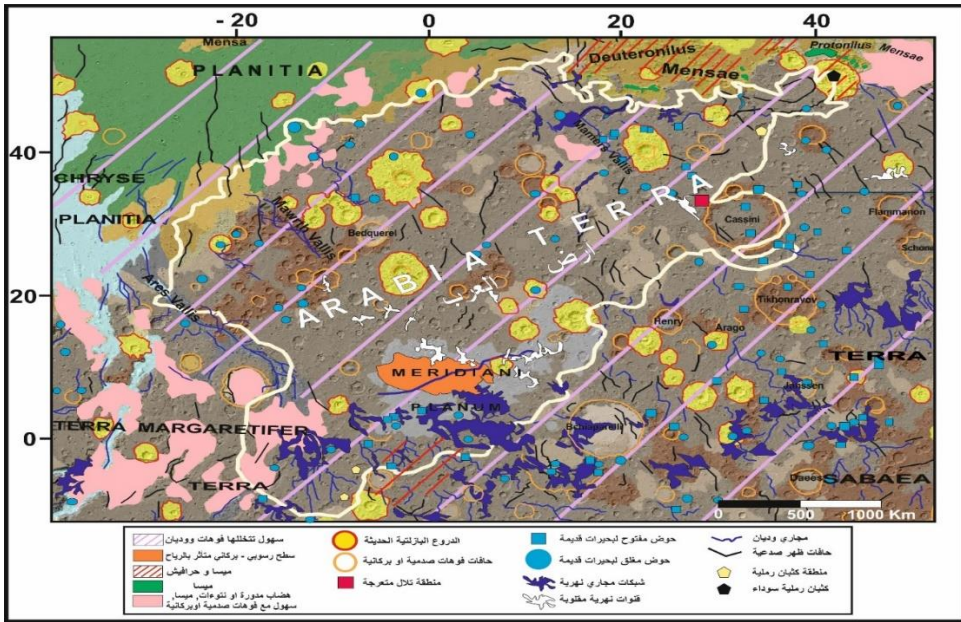
حيث إن: A - شيطان غبار بقطر كبير يبلغ نحو ١٠٠ متر، ويظهر مساره الذي يتركه خلفه كأثر غامق بلونٍ أسودٍ والذي يشبه تجاعيد الشعر أو الخط الملتوي [حقوق هذه الصورة المرقمة: MOC NA M1001267 محفوظة لـ NASA / JPL / Malin Space Science Systems] B - أحد شياطين الغبار الذي لوحظ من السطح مباشرة من خلال صورة كاميرا MER Spirit Navigation. , عموماً تبلغ اقطار هذه الظاهرة من عدة امتار إلى أكثر من ١٠٠ متر [رقم الصورة هو sol 496.2 N170391683ESFAAFQP1560L0M1, وحقوق الصورة محفوظة لـ Image credit NASA/Jet Propulsion Laboratory (JPL)] .

إن هذه الظاهرة الجيومورفولوجية - المناخية، تعكس نشاطاً كبيراً للغلاف الجوي المريخي الذي أشارت العديد من الدراسات إلى إنه ضعيف التأثير جرّاء فقدان معظمه في الفضاء الخارجي، نتيجة إضمحلال وضعف جاذبية الكوكب الأحمر الناتجة عن أسبابٍ تكتونية متعلقة بدورها بوضع نواة الكوكب الأحمر. لكن وجود مثل هذه الظاهر الريحية الكبيرة يعكس حالةً أخرى أعمق مما هو معروفٌ لنا حالياً، فضلاً عن إن ذلك سيؤدي بطبيعة الحال إلى إحداث تغييراتٍ شكلية مهمة وعميقة لمظاهر سطح هذا الكوكب ليس بالماضي البعيد وحسب، بل حاضراً ومستقبلاً أيضاً، الأمر الذي يُحتم

الرسمُ الخرائطي والتحليلُ الجيومورفولوجي للأشكال التضاريسية المختلفة في منطقة أرض العرب - Arabia Terra_ كوكب المريخ

إجراء دراساتٍ مستقبليةٍ مستفيضةٍ ومعقدةٍ للتأكد من حجم وتأثير الغلاف الجوي المريخي في تغير أشكال سطحه المتنوعة.

٣.١.٣. مظاهر جيومورفولوجية ناتجة عن عوامل أخرى : تتنوع المظاهر الجيومورفولوجية الناتجة عن عوامل أخرى مختلفة مثل النشاط التكتوني والقصف النيزكي، فضلاً عن تأثير قوة جاذبية ومقدار سمك كوكب المريخ في حدوث الإنزلاقات والإنهيارات المختلفة بمساعدة قوى خارجية أخرى. فضلاً عن دور العمليات الجيومورفولوجية الكبيرة للجليد السطحي وتحت السطحي في رسم أشكال سطح المريخ المختلفة، وما ينتج عن ذلك من تدفقاتٍ طينية وغيرها وغير ذلك من العوامل الأخرى التي لم تذكر بعد. الأمر الذي أدى إلى تنوع أشكال تضاريس المنطقة خصوصاً كما موضح في الشكل (١٢) ، فضلاً عن تنوع الأشكال التضاريسية لسطح كوكب المريخ عموماً جراء عمل تلك القوى المختلفة خلال عدة مليارات من السنوات.



الشكل (١٢) الخارطة الجيومورفولوجية لمنطقة أرض العرب

(عن الخارطة الجيولوجية للمريخ، فضلاً عن الدراسات السابقة عن المنطقة المستخدمة كمصادر أساسية في هذا العمل، بالإضافة إلى الملاحظة وتتبع الأشكال التضاريسية المريخية عبر بيانات (Google Mars & Google Earth)

الاستنتاجات :

- ١ - وفقاً لما يتوفر للباحثين العالميين من قاعدة بيانات يتم تحديثاً باستمرار , فقد أصبحت الدراسات الجيومورفولوجية بالخصوص والجيولوجية عموماً ممكنة جداً مع تحقيقي نتائج جيدة , وإن كانت غير نهائية حالياً.
- ٢ - وجود الكثير من الأشكال التضاريسية المريخية المشابهة بدورها لتلك الموجود مثلها على الأرض.
- ٣ - يتضح من الدراسة, بأن الكثير من الأشكال التضاريسية المريخية تُشابه مثيلاتها الأرضية من حيث كيفية النشأة والعمليات المساهمة بتكوينها.

التوصيات :

- ١ - ضرورة الإستمرار بمثل هذه الدراسات مع تعשיقها بدراسات المقارنة مع مثيلاتها من المظاهر التضاريسية الأرضية, ومقارنتها من حيث تشابه او شذوذ عمليات نشأتها وتطورها خلال السلم الزمني - الجيولوجي للكوكبين.
- ٢ - ضرورة إنتاج خارطة جيومورفولوجية لكل جزءٍ من سطح الكوكب الأحمر , على أن يتم تحديثها باستمرار بالإستعانة بالبيانات الرقمية والدراسات العلمية الأحدث, لما لهذا الموضوع من أهمية كبيرة حاضراً ومستقبلاً وبما يحقق عملية مواكبة التطور الفكري العلمي عالمياً حول هذه الموضوعات.
- ٣ - من المهم أيضاً, العمل على إنتاج خارطة جيولوجية للمريخ تُحدث باستمرار, إعتياداً على البيانات الرقمية ونتائج الدراسات الأكاديمية الأحدث في هذا المجال , لاسيما ما ينتج من بيانات عن تحليل بيانات المرئيات الفضائية الأحدث للمناطق المريخية المختلفة.

شكر وتقدير

نتوجه بالشكر والتقدير لكل المؤسسات العلمية والأكاديمية الدولية التي أتاحت للباحثين حول العالم كل البيانات العلمية الضرورية عن الكوكب الأحمر بصورة مجانية, وهو ما أدى لإتمام إنجاز مثل هذه المقالة العلمية. كما لا ننسى التوجه بالشكر للأنسة ألكسندرا أسانوفنا إلبكان (Александра Асановна Элбакян) مؤسسة موقع sci-hub (<https://sci-hub.se/>) لمساهمتها الفذة في إتاحة المعلومة العلمية الناتجة عن الدراسات الأكاديمية الرصينة بصورة حرة لكل بني الإنسان في كل أرجاء المعمورة.

- ١ <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA10132>
- ٢ يمثل الحد الطبيعي الذي يفصل بين المناطق اليابسة (القارات) والمناطق الحوضية الكبرى (المحيط الشمالي للمريخ).
- ٣ دوامة ترابية (Dust devil): الدوامة الترابية أو عَفْرِيتُ الغبار: عبارة عن زوابع صغيرة يمكن رؤيتها من خلال الغبار والرمل المتراكمين الذين يتحركان صعوداً، بصورة تدفق حلزوني ناتج عن تسخين الهواء القريب من السطح عن طريق تسخين السطح بحرارة الشمس - التشميس. يستخدم مصطلح "شيطان الغبار" للإشارة إلى دوامات الحمل الحراري المستمرة والمحملة بالجسيمات لتمييزها عن الدوامات التي تتشكل بنفس الطريقة ولكنها أضعف من أن تلتقط المواد وتصبح مرئية، كما إنها ظواهر جوية شائعة على كل من الأرض والمريخ، ينظر في ذلك: Balme, M., S. Metzger, M. Towner, T. Ringrose, R. Greeley, and J. Iversen (2003), Friction wind speeds in dust devils: A field study, *Geophys. Res. Lett.*, 30(16), 1830, doi:[10.1029/2003GL017493](https://doi.org/10.1029/2003GL017493) [Google Scholar].
- ٤ Yardangs هي كلمة ذات أصل تركي أطلقت لأول مرة على بعض الأشكال الصخرية الغربية التي حُفرت في الرواسب البحرية القديمة في صحراء تركستان، وتمثل أشكال رياح انسيابية تشبه شكل أجسام القوارب المقلوبة أو أضلع الحيوانات، والتي تتواجد في الصحارى الأرضية والمريخية، وتتراوح أطوالها من عدة أمتار إلى كيلومترات في، ومن أمثلتها تلك المنتشرة بمرتفعات تيبستي جنوب الصحراء الليبية وتلك المنتشرة على هوامش منخفض الخارجة بالصحراء الغربية المصرية. على المريخ، ثرى أفضل الأمثلة عليها في المنطقة الاستوائية، ففي منطقة الأمازون تم نحت المنات من التلال والميسا ذات الحواف المسننة بالرياح في الصخور ذات الطبقات المختلفة. تظهر Yardangs على المريخ، خاصةً عندما يتم نحتها في وحدات جيولوجية شابة. غالباً ما لا تكون سمات الiardangs موازية لاتجاهات خطوط الرياح، مما يشير إلى أن الiardangs قد تشكلت بواسطة رياح مختلفة (أقدم أو أضعف) من تلك التي شكلت الخطوط، يُنظر في ذلك:
- Ward, A. W. (1979). Yardangs on Mars: Evidence of recent wind erosion. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 84(B14), 8147-8166. <https://doi.org/10.1029/JB084iB14p08147> [Google Scholar].
- ٢ - محمد مجدي تراب، أساسيات الجغرافيا الطبيعية، مكتبة الفلاح للنشر والتوزيع، مدينة العين، ٢٠٠٨، ط ٢، ص ١٤٧.
- ٥ لها عدة تسميات محلية في العراق بحسب مناطقها المختلفة ومنها (الفتالة، فسَاء العجوز أو فسَاء الثعلب - فسَاء الواوي).

المصادر

1. Baioni, D., Murana, A., & Tramontana, M. (2014). Amazonian thermokarst in Danielson crater, Arabia Terra region, Mars. *Planetary and Space Science*, 104, 310-317. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2014.09.006> [Google Scholar].
2. Balme, M., & Greeley, R. (2006). Dust devils on Earth and Mars. *Reviews of Geophysics*, 44(3). <https://doi.org/10.1029/2005RG000188> [Google Scholar].
3. Balme, M., S. Metzger, M. Towner, T. Ringrose, R. Greeley, and J. Iversen (2003), Friction wind speeds in dust devils: A field study, *Geophys. Res. Lett.*, 30(16), 1830, <https://doi.org/10.1029/2003GL017493> [Google Scholar].
4. Bibring, J. P., Langevin, Y., Mustard, J. F., Poulet, F., Arvidson, R., Gendrin, A., ... & Neukum, G. (2006). Global mineralogical and aqueous Mars history derived from OMEGA/Mars Express data. *science*, 312(5772), 400-404 [Google Scholar].
5. Bibring, J. P., Langevin, Y., Poulet, F., Gendrin, A., Gondet, B., Berthé, M., ... & Schmitt, B. (2004). Perennial water ice identified in the south polar cap of Mars. *Nature*, 428(6983), 627-630. <https://doi.org/10.1038/nature02461> [Google Scholar].
6. Cardenas, B. T., Mohrig, D., & Goudge, T. A. (2017). Fluvial stratigraphy of valley fills at Aeolis Dorsa, Mars: Evidence for base-level fluctuations controlled by a downstream water body. *Geological Society of America Bulletin*, 130(3-4), 484–498. <https://doi.org/10.1130/B31567.1> [Google Scholar]
7. Carr, M. H. (2007). *The surface of Mars* (Vol. 6). Cambridge University Press [Google Scholar]
8. Carr, M. H., & Head III, J. W. (2010). Geologic history of Mars. *Earth and Planetary Science Letters*, 294(3-4), 185-203. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.06.042> [Google Scholar].
9. Craddock, R. A., & Howard, A. D. (2002). The case for rainfall on a warm, wet early Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 107(E11), 21-1. <https://doi.org/10.1029/2001JE001505> [Google Scholar].
10. Davis, J. M., Gupta, S., Balme, M., Grindrod, P. M., Fawdon, P., Dickeson, Z. I., & Williams, R. M. (2019). A diverse array of fluvial depositional systems in Arabia Terra: Evidence for mid-Noachian to early Hesperian rivers on Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 124(7), 1913-1934. <https://doi.org/10.1029/2019JE005976> [Google Scholar].

11. Fassett, C. I., & Head III, J. W. (2008). Valley network-fed, open-basin lakes on Mars: Distribution and implications for Noachian surface and subsurface hydrology. *Icarus*, 198(1), 37-56. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2008.06.016> [Google Scholar].
12. Frey, H. V. (2006). Impact constraints on, and a chronology for, major events in early Mars history. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 111(E8). <https://doi.org/10.1029/2005JE002449> [Google Scholar].
13. Greeley, R., Foing, B. H., McSween Jr, H. Y., Neukum, G., Pinet, P., van Kan, M., ... & Zegers, T. E. (2005). Fluid lava flows in Gusev crater, Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 110(E5). <https://doi.org/10.1029/2005JE002401> [Google Scholar].
14. Hartmann, W. K. (2005). Martian cratering 8: Isochron refinement and the chronology of Mars. *Icarus*, 174(2), 294-320. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2004.11.023> [Google Scholar].
15. Hartmann, W. K., & Neukum, G. (2001). Cratering chronology and the evolution of Mars. *Chronology and evolution of Mars*, 165-194. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1035-0_6 [Google Scholar].
16. Head, J. W., Marchant, D. R., Agnew, M. C., Fassett, C. I., & Kreslavsky, M. A. (2006). Extensive valley glacier deposits in the northern mid-latitudes of Mars: Evidence for Late Amazonian obliquity-driven climate change. *Earth and Planetary Science Letters*, 241(3-4), 663-671. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.11.016> [Google Scholar].
17. Howari, F. M., Sharma, M., Xavier, C. M., Nazzal, Y., & AlAydaros, F. (2021). Chronological Analysis and Remote Sensing of Craters on the Surface of Mars. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 605893. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.605893> [Google Scholar].
18. Jaumann, R., Tirsch, D., Hauber, E., Erkeling, G., Hiesinger, H., Le Deit, L., ... & Reiss, D. (2014). Water and Martian habitability: Results of an integrative study of water related processes on Mars in context with an interdisciplinary Helmholtz research alliance "Planetary Evolution and Life". *Planetary and Space Science*, 98, 128-145. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2014.02.013> [Google Scholar].
19. Levy, J. S., Head, J. W., & Marchant, D. R. (2009). Concentric crater fill in Utopia Planitia: History and interaction between glacial "brain terrain" and periglacial mantle processes. *Icarus*, 202(2), 462-476. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2009.02.018> [Google Scholar].
20. Malin, M. C., & Edgett, K. S. (2000). Evidence for recent groundwater seepage and surface runoff on

- Mars. *Science*, 288(5475), 2330-2335 DOI: [10.1126/science.288.5475.2330](https://doi.org/10.1126/science.288.5475.2330) [Google Scholar].
21. Mège, D., & Bourgeois, O. (2011). Equatorial glaciations on Mars revealed by gravitational collapse of Valles Marineris wallslopes. *Earth and Planetary Science Letters*, 310(3-4), 182-191. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.08.030> [Google Scholar].
22. Melosh, H. J., & Vickery, A. M. (1989). Impact erosion of the primordial atmosphere of Mars. *Nature*, 338(6215), 487-489. <https://doi.org/10.1038/338487a0> [Google Scholar].
23. Mustard, J. F., Cooper, C. D., & Rifkin, M. K. (2001). Evidence for recent climate change on Mars from the identification of youthful near-surface ground ice. *Nature*, 412(6845), 411-414. <https://doi.org/10.1038/35086515> [Google Scholar].
24. NASA/THEMIS/Arizona State University: Winds and Streaks of Arabia [Site].
25. NASA/THEMIS/Arizona State University: Winds and Streaks of Arabia [Site].
26. Nimmo, F., & Tanaka, K. (2005). Early crustal evolution of Mars. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33(1), 133-161 [Google Scholar].
27. Nyquist, L. E., Bogard, D. D., Shih, C. Y., Greshake, A., Stöffler, D., & Eugster, O. (2001). Ages and geologic histories of Martian meteorites. In *Chronology and evolution of Mars* (pp. 105-164). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1035-0_5 [Google Scholar].
28. Perl, S. M., Celestian, A. J., Cockell, C. S., Corsetti, F. A., Barge, L. M., Bottjer, D., ... & Melwani Daswani, M. (2021). A proposed geobiology-driven nomenclature for astrobiological in situ observations and sample analyses. *Astrobiology*, 21(8), 954-967. <https://doi.org/10.1089/ast.2020.2318> [Google Scholar].
29. Scott, D. H. (1978). Mars, highlands-lowlands: Viking contributions to Mariner relative age studies. *Icarus*, 34(3), 479-485. [https://doi.org/10.1016/0019-1035\(78\)90039-8](https://doi.org/10.1016/0019-1035(78)90039-8) [Google Scholar].
30. Tanaka, K. L. (2005). Geology and insolation-driven climatic history of Amazonian north polar materials on Mars. *Nature*, 437(7061), 991-994. <https://doi.org/10.1038/nature04065> [Google Scholar].
31. Tanaka, K. L., & Hartmann, W. K. (2012). The planetary time scale. In *The geologic time scale* (pp. 275-298). Elsevier [Google Scholar].
32. Tanaka, K. L., Skinner Jr, J. A., Dohm, J. M., Irwin III, R. P., Kolb, E. J., Fortezzo, C. M., ... & Hare, T. M. (2014). Geologic map of Mars: US geological survey scientific investigations map 3292, Scale 1:

- 20,000,000, Pamphlet 43 p. *US Geological Survey: Reston, VA, USA.* [\[Google Scholar\]](#).
33. Tirsch, D., Jaumann, R., Pacifici, A., & Poulet, F. (2011). Dark aeolian sediments in Martian craters: Composition and sources. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 116(E3). <https://doi.org/10.1029/2009JE003562> [\[Google Scholar\]](#)
34. Ward, A. W. (1979). Yardangs on Mars: Evidence of recent wind erosion. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 84(B14), 8147-8166. <https://doi.org/10.1029/JB084iB14p08147> [\[Google Scholar\]](#).
35. Zachary, I. D. (2022). *Palaeolakes on Mars: geomorphology and hydrology at the planetary dichotomy* (Doctoral dissertation, Birkbeck, University of London) [\[Google Scholar\]](#).
36. "HiRISE - Slope Streaks in Tikhonravov Basin (PSP_007531_1935)". https://hirise.lpl.arizona.edu/PSP_007531_1935

المصادر العربية :

٣٧. محمد مجدي تراب، أساسيات الجغرافيا الطبيعية، مكتبة الفلاح للنشر والتوزيع، مدينة العين، ٢٠٠٨، ط ٢، ص ١٤٧.

المواقع الالكترونية :

38. <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA10132>
39. <https://NASA/JPL/GSFC/Arizona State University>
40. [https:// NASA/HiRISE/JPL-Caltech/University of Arizona State](https://NASA/HiRISE/JPL-Caltech/University of Arizona State)

