

البراكين وسبل مجابقتها



عبد الله بن محمد العمري

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

١٤٤٤ هـ - ٢٠٢٣ م



www.alamrigo.com





ح عبد الله بن محمد العمري، ١٤٤٣هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

العمري ، عبدالله بن محمد سعيد

كتاب البراكين وسبل مجابقتها. / عبدالله بن محمد سعيد العمري -

ط ١..- الرياض، ١٤٤٣هـ

١٧٢ ص ، ٢١،٥ X ٢٨

ردمك: ٩٧٨-٦٠٣-٠٣-٩٩١٠-٩

١ - البراكين أ. العنوان ب. الموسوعة

١٤٤٣ / ٧٦٣٣

ديوي ٥٥١،٢

رقم الإيداع ١٤٤٣ / ٧٦٣٣

ردمك: ٩٧٨-٦٠٣-٠٣-٩٩١٠-٩

حقوق طبع الموسوعة محفوظة للمؤلف

مع عدم السماح ببيعها .. ويمكن إعادة طباعتها وتوزيعها مجاناً بدون أي تعديل في الاسم أو المحتوى

تطلب النسخة الورقية المجانية من المؤلف على العنوان التالي:

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود ص.ب. 2455 الرياض 11451

الإصدار الإلكتروني من خلال الموقع

www.alamrigeo.com

للاستفسارات والملاحظات الاتصال على:

جوال +966505481215 هاتف +966 11 4676198

البريد الإلكتروني E.mail : alamri.geo@gmail.com



الطبعة الأولى

١٤٤٤هـ / ٢٠٢٣م



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ وَفِي الْأَرْضِ آيَاتٌ لِلْمُوقِنِينَ ﴾

[سورة الذاريات : آية 20]

﴿ And on the Earth are Signs for
Those Whose Faith is Certain ﴾



موسوعة العمري في علوم الأرض





مَهَيِّدٌ

الحمد والشكر لله الذي ساعدني في إنجاز هذا الجهد المتواضع المرتبط بتأليف الموسوعة العلمية العربية. تهدف الموسوعة العلمية الشاملة في علوم الأرض والبيئة والطاقة إلى تزويد وخدمة الباحثين وطلاب المدارس والجامعات وفئات المجتمع نظراً لمعاناة المهتمين من مشاكل ندرة المراجع العربية في هذا المجال. تشتمل الموسوعة المجانية والتي تعتبر الأضخم عالمياً على 30 كتاب علمي ثقافي موثق ومدعم بالصور والأشكال التوضيحية المبسطة في 6000 صفحة تقريباً تغطي خمسة أجزاء رئيسية:

الجزء الأول مكون من ستة كتب يناقش عمر الأرض وشكلها وحركاتها وتركيبها الداخلي وثرواتها المعدنية والتعدينية والجاذبية الأرضية وعلاقتها بالمد والجزر:

تقدير عمر الأرض

التركيب الداخلي للأرض

شكل الأرض وحركاتها

المعادن والتعدين

الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها

المد والجزر

الجزء الثاني من الموسوعة يشتمل على ستة كتب تربط علاقة الأرض بالنظام الشمسي وبالأخص القمر والأغلفة الجوية والمائية والحيوية المحيطة بالأرض. وكذلك دور الزلازل والتفجيرات والبراكين والتسونامي في التأثير على بنية الأرض وكيفية تقليل مخاطرها:

موجات التسونامي

البراكين وسبل مجابتهها

الزلازل والتفجيرات

جيولوجية القمر

تقييم مخاطر الزلازل

الأغلفة المحيطة بالأرض





الجزء الثالث يتألف من ستة كتب يربط كل ما يتعلق بالمشاكل والكوارث البيئية والطبيعية وحلولها والتغيرات المناخية وأهمية التشجير ومعالجة الاحتباس الحراري:

- المشاكل البيئية وحلولها
- الانزلاقات والإنهيارات والفيضانات
- التغيرات المناخية والاحتباس الحراري
- الأمطار والسيول والسدود
- التشجير: التحديات والحلول
- التصحّر والجفاف

الجزء الرابع يتكون من ستة كتب يناقش ارتباط علوم الأرض بالعلوم الأخرى نووياً وطبيياً، وكذلك دور الطاقة المستدامة النظيفة اقتصادياً وبيئياً:

- مستقبل الطاقة في عالمنا
- الجيوفيزياء النووية
- الطاقة الحرارية الأرضية
- الجيولوجيا الطبية
- هل إنتهى عصر النفط؟
- دليل كتابة الرسائل والنشر العلمي

أما **الجزء الخامس** يتألف من ستة كتب متخصصة في العلوم الجيولوجية مكونة من 2020 سؤال وجواب لمساعدة طلاب الجامعات والباحثين وتهيئتهم للاختبارات الشاملة والتأهيلية للدراسات العليا ومزاولة المهنة:

321 سؤال وجواب في تطور الأرض	
358 سؤال وجواب في علم الصخور والجيوكيمياء والاستشعار عن بُعد والـ GIS	
358 سؤال وجواب في الثروات الطبيعية	
380 سؤال وجواب في المخاطر الجيولوجية	
303 سؤال وجواب في علم الزلازل والزلازلية الهندسية	
300 سؤال وجواب في الجيوفيزياء التطبيقية	

المؤلف





مقدمة

تتعرض الكرة الأرضية لكثير من العمليات الجيولوجية التي تؤثر في تضاريسها وفي التركيب الداخلي، فهناك عوامل أُطلق عليها عوامل هدم وهي التي تحدث على سطح الأرض وتسوي المرتفعات والصخور من خلال عمليات الحت والتعرية، مثل الرياح والأمطار؛ وهناك عوامل تحدث في باطن الأرض وتظهر نتائجها على سطح الأرض، ويُطلق عليها عوامل بناء لكونها تُخرج مواد مصهورة من باطن الأرض، وترمي بها على سطح الأرض مكونةً جبالاً ومرتفعاتٍ، وهي البراكين والزلازل.

تعتبر الزلازل والبراكين من أخطر الكوارث الطبيعية على الأرض، وتختلف وراءها دماراً شاملاً، يلحق الضرر بكل من الطبيعة والإنسان والبنيان العمراني، وتحصد بعض الزلازل المفاجئة والبراكين الثائرة أرواح مئات الآلاف من البشر، كما تؤدي إلى إتلاف مساحات شاسعة من الأراضي الخضراء، وهدم عدد كبير من البيوت المأهولة والمصانع والشركات التي يعيش الكثيرون من ورائها. وهناك علاقة وطيدة بين البراكين والزلازل، فأحدهما قد يسبب الآخر، حيث يمكن أن يكون سبب الزلزال تحرك الكتل والحمم الملتهبة في باطن الأرض وضغطها على الأجزاء الضعيفة في القشرة الأرضية، كما قد يكون الزلزال سبباً للبركان في حالة الاهتزاز الشديد الذي قد يسبب تهيج الحمم البركانية والحمم في باطن الأرض.





يمكن أن يؤدي كلا من **الزلازل** والبراكين إلى مجموعة من **الفوائد** أيضاً لسطح الأرض بغض النظر عن **الأضرار** حيث يساعدان **بدور** كبير في التخلص من نسبة كبيرة من **الاحتباس الحراري** الذي **نعاني** منه في الفترة الأخيرة، حيث إن **الصناعات** المتقدمة تسببت في **زيادة نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون** وهذا بالطبع هو أكثر **الأسباب** المؤدية إلى **احتباس الحرارة** غير أن هناك **غاز آخر** يتم انطلاقه فور **حدوث البركان**، وهذا **الغاز** يسمى (غاز ثاني أكسيد الكبريت)، وهو مسئول عن **الاحتباس البرودي** وهذا بالطبع يقلل من أثر **الاحتباس الحراري** نادراً ما يفكر **معظم** الناس في **البراكين** Volcanos أو الدور الذي قامت بها في تاريخ **البشرية**، وذلك لأن معظمنا لا يعيش حيث **تتفجر البراكين**، فهي ليست جزءاً من **حياتنا اليومية**. تعدّ **البراكين** بلا شك واحدة من أكثر **السمات الطبيعية** روعة وإثارة للإعجاب والرهبة، وقد **ساهمت** في إمداد **الإنسان** ببعض **الفوائد** والمتعة وبأكثر محنة **تدميراً**. إذ توفر **الأقماع البركانية** - الجبال الأكثر ارتفاعاً على وجه الأرض - مناظر **خلابة** يتمتع بها **الملايين** كما أنها تمنح التربة خصوبة فائقة، لكن ومن ناحية أخرى، فقد تسببت **الانفجارات البركانية** الكبيرة عبر **العصور التاريخية** في **الموت والدمار** في العديد من **المناطق**. في العصور القديمة، كانت **البراكين** **محاطة** بالغموض والخرافات، وحتى اليوم، مع التقدم الهائل في جميع العلوم، لا يزال الناس **يطرحون** العديد من الأسئلة حول **البراكين**، التي لم **نحصل** على **الإجابة** عنها. لكن من المحتمل جداً أنه عندما يتعلم **الإنسان** المزيد عنها قد **تُسخر** قوتها **الهائلة** لصالح البشرية (Bullard, 1962).





تُشكل بعض العمليات البركانية خطراً طبيعياً كبيراً، في حين أن البعض الآخر مفيد جداً للمجتمع. وبالتالي، فإن دراسة البراكين لها أهمية بعيدة المدى للمجتمع. يرتبط علم البراكين ارتباطاً وثيقاً بالجيولوجيا ويُعتبر مرحلة من مراحل تطور الجيولوجيا، كما أنه يرتبط أيضاً ارتباطاً وثيقاً بعلم الزلازل والجيوكيمياء والجيوفيزياء؛ وهو مثل معظم العلوم الأخرى، يصعب تحديد حدوده، لأن جميع العلوم مترابطة (Sigurdsson, 2000).

ما هو البركان؟

تلعب البراكين دوراً مهماً في العمليات الجيولوجية التي تؤثر على تطور القشرة الأرضية وتشكلها وأصبحت دراسة البراكين علماً قائماً بذاته يعرف باسم (علم البراكين) Volcanology. ويصاحب البراكين غالباً تكون معادن وخامات ذات جدوى اقتصادية. علم البراكين حالياً يدرس اندلاع الصهارة (المواد المنصهرة بالإضافة إلى محتواها الغازي) على سطح الأرض أو ارتفاعها إلى مستويات بالقرب من السطح، حيث يتعامل علم البراكين مع التطور الفيزيائي والكيميائي للصهارة، ونقلها وثورانها، وتشكيل الرواسب البركانية على سطح الكوكب.

البركان عبارة عن هي مجموعة من الشقوق التي تحدث في قشرة الأرض، وتسهم هذه التشققات في انبعاث وخروج الحمم البركانية، أو ما يعرف بـ (الرماد البركاني) وانبعاثه من أماكن الانصهار، ويحدث ذلك بواسطة فوهات وشقوق،





وتتجمع هذه المواد وتتساقب حسب أنواعها لتتشكل على **هياآت** عديدة، منها: التلال المخروطية، والجبال **البركانية** العالية،، و تحدث إما بسبب الضغط أو الطاقة **الحرارية** الأرضية أو الاحتكاك أو الإشعاع الذري (**العمري**، 2013م). هذه الانفجارات تؤدي إلى **تدمير** البنية التحتية في **المناطق** القريبة من البراكين كما أنها تطلق **الغاز السام** الذي قد يؤدي إلى **الوفيات**. والرماد **البركاني** الحار يصل إلى مسافات طويلة، وقد **يؤدي** إلى **احتراق** أو **طمر** التجمعات السكنية، أو **يتساقط** ملوثا المناطق الأخرى **الأكثر** بُعداً. والحمم السائلة (**اللافا**) تندفع إلى الخارج من فوهة **البركان** وتسير مسافات طويلة قبل **تجمدها**.

مع ملاحظة إلى أنه لا يحدث (**احتراق**) داخل **البركان** بمعنى **الاحتراق**، كما هو حال **احتراق** الخشب؛ علاوة على ذلك، فإن **البراكين** ليست بالضرورة **جبال**؛ وقد لا يكون **النشاط** دائماً في **القمة** وإنما بشكل أكثر **شيوفاً** على الجانبين أو الأطراف؛ كذلك فإن (**الدخان**) المتصاعد منه ليس **دخاناً** بل هو **بخار مكثف**، وهو **مختلط** بشكل **متكرر** بجزئيات **الغبار** فيصير لونه داكناً، أما عن (**النار**) التي تُشاهد فهي انعكاس للمادة **الساخنة** الحمراء على سحب **البخار** فوق **البركان**؛ لذلك فإن المظهر (**الناري**) و (**الدخاني**)، إضافةً إلى **التوهج الأحمر** المنعكس من الحمم **البركانية** في الفوهة الواقعة أسفلها، هي المسؤولة عن **الفكرة الشائعة** القائلة بأن **البراكين** هي (**جبال مشتعلة**) (Bullard, 1962).



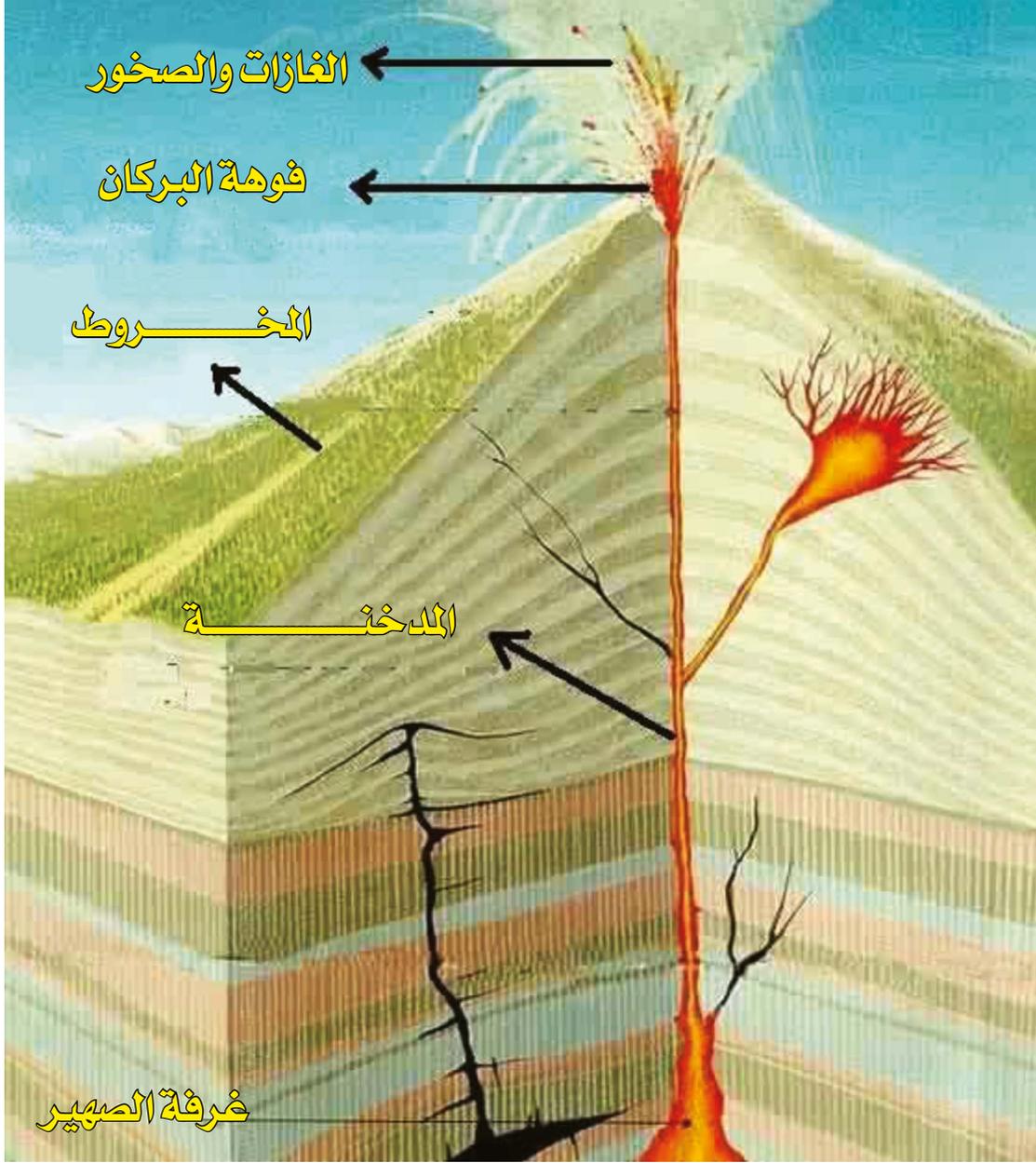


مكونات البركان

يتكون البركان من الأجزاء التالية:

- **المخروط البركاني:** هو الشكل الذي يتكون منه جسم البركان، ويتركب من جزيئات ونقط من الحمم البركانية التي أُخرجت من فتحة واحدة عبارة عن حطام صخري أو لافا متصلبة يقذفها البركان من فوهته وكانت كلها أو بعضها في حالة منصهرة،، نظراً لأن الحمم المشحونة بالغاز تفجر بعنف في الهواء، فتتكسر لأجزاء صغيرة تتصلب وتهبط في شكل فتحات حول الفتحة لتشكل مخروط دائري أو بيضوي، وتتفاوت المخروطات البركانية في حجمها، حسب كمية المواد المنصهرة.
- **الفوهة:** عبارة عن تجويف مستدير الشكل تقريباً في قمة المخروط، وتتفاوت اتساعها من عدة أمتار إلى عدة مئات من الأمتار. وتنبثق من الفوهة غازات وكتل صخرية وقذائف وحمم ومواد منصهرة (لافا) وقد يكون للبركان أكثر من فوهة ثانوية إلى جانب الفوهة الرئيسية تتكون بعد هدوء الثوران.
- **المدخنة أو القصبية:** وهي قناة تمتد من قاع الفوهة إلى أسفل حيث تتصل بفرن الصهير في جوف الأرض. وتندفع خلالها المواد البركانية إلى الفوهة. وتعرف أحياناً بعنق البركان بجانب المدخنة الرئيسية، قد يكون للبركان عدة مداخن تتصل بالفوهات الثانوية.
- **اللاطف الغازي:** هي السحابة التي تحمل الغازات، والأبخرة والرماد الذي يخرج من البركان.
- **غرفة الصهير:** هي الحوض الداخلي للبركان حيث تتجمع الحمم والغازات.





أجزاء البركان





مقذوفات البركان

تعرف **المقذوفات البركانية** Ejecta بأنها كل ما يندفع من **البركان**، ويشمل ذلك المواد الصلبة التي تندفع منه إلى جانب غيرها من **الحمم** والصهارة اللزجة، حيث تزداد لزوجة الحمم **البركانية** بزيادة محتواها من **السيليكا**، وتقل في لزوجتها كلما انخفض. تحتوي الصهارة على بعض **البلّورات**، بالإضافة لشظايا من الصخور غير **المنصهرة**، والقليل من الغازات المذابة، وتتضمن عدة عناصر **مثل**: الأكسجين، والسيليكون، والألمنيوم، والحديد، والمغنيسيوم، والكالسيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم، والتيتانيوم، والمنغنيز، وعند تعرّضها للتبريد تترسب على هيئة بلّورات من **معادن** مختلفة مكوّنة الصخور **النارية** يقذف **البركان** بثلاثة أنواع رئيسية وهي:

مقذوفات سائلة

وهي نفس **الصهارة** الموجودة في باطن الأرض وتسمى **اللافا (الحمم)** بمجرد خروجها إلى سطح الأرض، وتزيد درجة حرارتها على **1100 درجة مئوية**، وتنبثق الحمم من **فوهة البركان**، ومن الشقوق والكسور على جوانب المخروط، وتتوقف سرعة **انسياب الحمم** على درجة سيولتها ولزوجتها. **الحمم البركانية** الأكثر لزوجة وأقل سوائل **تتحرك** بشكل أبطأ.

مقذوفات صلبة

ويطلق عليها أيضا اسم **تيفرا**، وهي الصهارة التي تكون عالية اللزوجة لدرجة تحبس **الغاز** داخلها حتى تصل إلى **الفتحة المركزية** للبركان، ثم تنفجر





الصهارة نتيجة لضغط الغاز وتطلق في الهواء، وتتكسر إلى شظايا يختلف حجمها بحسب قوة الانفجار. من أشهر مواد التيفرا ما يلي: الحجر الخفاف - ذو اللون الفاتح، والصخور البركانية الرغوية، التي تكونت نتيجة تمدد الغاز في الحمم البركانية.

التيفرا: لقب يطلق على أي شظية بركانية في الهواء، وتختلف أسماؤها باختلاف الحجم، مثل: الغبار البركاني، والرماد البركاني، والقذائف البركانية (القنابل البركانية) التي يصل قطرها إلى متر، وعادة تكون بيضوية الشكل، أو تكون على هيئة حصى بركانية لا يتجاوز قطرها نصف سنتيمتر.

القنابل البركانية: القنبلة البركانية عبارة عن كتلة صلبة من تيفرا أكبر من 64 مم في القطر، وتشكلت عندما يقذف بركان شظايا لزجة من الحمم البركانية أثناء ثوران بركاني. يمكن لبعض القنابل أن تكون بحجم سيارة صغيرة.

أما الرماد البركاني فقطره أقل من نصف سنتيمتر، ويكون ما يسمى (الطفل البركاني) عندما يتراكم فوق بعضه البعض، وفي حال اختلاطه بالماء يكون جدولاً يغلي ويسمى (الطفح الوحلي)، وقد تصل سرعة جريان هذا الجدول إلى مائة كيلو متر في الساعة.

أما الغبار البركاني فحجمه دقيق جداً، وتحمله الرياح مسافات بعيدة. ويعتبر أجود أنواع الرماد البركاني ويتكون من جزيئات يقل قطرها عن 0.06 مم.





مقذوفات غازية

يرافق **الثوران البركاني** خروج كميات **هائلة** من الغاز، وتكون **سحباً** سوداء نتيجة اختلاطها بالغبار **البركاني**، ويتكون الغاز **بشكل** رئيسي من **بخار الماء**، ويحتوي على غازات أخرى **أهمها** ثاني أكسيد الكربون ونيروجين وثاني أكسيد الكبريت وهيدروجين وكلورين. وقد **ينبعث** الغاز والبخار من **البراكين** الساكنة دون أن يصاحبها حمم.

أسباب النشاط البركاني

يحدث النشاط **البركاني** بسبب عوامل فعّالة في باطن الأرض وتشارك جميعها في **إحداث الثوران البركاني** وهذه **العوامل هي**:

الطاقة الحرارية : تعمل على صهر الصخور وتقليل لزوجتها وصعودها إلى **القشرة الأرضية** وذلك اعتماداً على الفيض الحراري الأرضي والتوصيل الحراري والتدرج الحراري. وهناك **ثلاثة** مصادر رئيسة للطاقة الحرارية التي تتسبب في **انفجار البراكين هي**:

الإشعاع الذري: وينتج عن عمليات **تحلل** نظائر العناصر المشعة، مثل: اليورانيوم والثوريوم التي تتميز بأنها توجد **طبيعياً** في حالة غير **مستقرة** مما يجعلها تتفكك فتنبعث منها جسيمات **نووية إشعاعية** كهرومغناطيسية تحمل طاقة **هائلة تودعها** في المادة المحيطة في شكل **حرارة** تعمل على **تسخين** الصخور في باطن الأرض **مؤدية** إلى انصهارها.





الاحتكاك: ويحدث عنها **تولد** حرارة تكفي لصهر بعض الصخور مكونة الصهير الذي لا يلبث أن يندفع إلى سطح الأرض تحت **تأثير** عوامل أخرى، مثل: الضغط، وكثافة المادة المنصهرة.

الطاقة الحرارية الأرضية: وهي طاقة إضافية موجودة أصلاً تحت القشرة الأرضية وناجمة عن وجود الصخور الأرضية في حالة منصهرة.

الضغط: يعمل الضغط الذي يحدث على المواد المنصهرة داخل القشرة الأرضية على ازدياد حالة عدم استقرارها وتوجيهها للمناطق الضعيفة الموجودة في الصفائح التكتونية ويتسبب ارتفاع درجة الحرارة داخل غرفة الصهير على زيادة تمدد الغازات، ومن ثم ارتفاع درجة الحرارة داخل غرفة الصهير على زيادة تمدد الغازات، ومن ثم ارتفاع الضغط الداخلي؛ فيندفع الصهير أو يتسرب عبر الشقوق والصدوع مصحوباً بتفاعلات أكسدة الهيدروجين التي تبعث منها حرارة (تفاعلات طاردة للحرارة) ويصحب ذلك انفجارات عنيفة مدوية داخل القصبه البركانية مكونة ينابيع من اللابة والحمم والأبخرة المتطايرة والمندفة إلى أعلى في هيئة ثوران بركاني.





أنواع الثوران البركانية

يُمكن تقسيم البراكين تبعاً لطريقة ثوران الحمم والصهارة منها:

الانبثاق البركاني أو الانسيابي Effusive Eruptions، ويحدث هذا النوع من الثوران عندما تكون لزوجة الصهارة منخفضة، حيث تتدفق الحمم من سطح البركان وتتساقط بهدوء مثل السوائل إلى أسفل مكان تحتويه منطقة البركان، وقد تخرج الصهارة على شكل مقذوفات لتكوّن ما يُشبه بـ **جدار يُعرف بـ (Curtain of Fire)**، أو أنها قد تخرج لتصل إلى الماء لتُشكل تحته ما يُعرف بـ **(الحمم الوسادية) Pillow Lavas** ، وفي حال احتوت الصهارة على نسبة قليلة من الغازات الذائبة فيها بالإضافة إلى لزوجتها العالية، فإن الحمم ستستقر وتتراكم على فوهة البركان.

تتميز الانفجارات الانسيابية بتدفق الحمم البركانية على السطح، ويمكن أن تطول هذه الانفجارات وتتدلع كميات كبيرة من الصخور لكنها ليست أكثر رقة واستمرارية من البراكين المتفجرة. الحمم النموذجية هي بازلت وهو سائل للغاية ويمكن أن يتدفق مع ظهور الماء وأنديسايت وهو أكثر لزوجة وينتج تدفقات قصيرة. الداسيت والريولايت شديد اللزوجة وغالباً ما يشكلان قباباً من الحمم البركانية.





تتشكل الحمم الوسادية Pillow Lava عندما تنبثق الحمم البازلتية تحت الماء وسائد دائرية من الحمم تحيط بها مواد صلبة بنية اللون تسمى البيروكلاست Pyroclastic بنية اللون

• **الانفجار البركاني Explosive Eruptions**، ويحدث هذا النوع من الثوران عندما تكون لزوجة الصهارة عالية وتحتوي على نسبة عالية من الغازات المذابة بها، فعندما تنفجر فقاعات هذه الغازات داخل الصهارة فإنها ستتحوّل إلى حبيبات صغيرة من الصهارة الساخنة، ويؤدي انفجارها وتطايرها في الهواء





إلى تبريدها لتتنزل على الأرض على شكل حبيبات من الرماد البركاني أو على شكل مواد صلبة تُسمى بـ (البيروكلاست).

- **تحدث الانفجارات البركانية** بسبب الصهارة الفلزية الغنية بالغاز، التي تتماوج داخل غرفة الصهارة. عندما يصبح الضغط كبيراً جداً، تخترق الصهارة الصخور فوق الحجرة وتنفجر.



تدفق البيروكلاستيك Pyroclastic يدخل البحر





تصنيف الصخور البركانية

تتكون الصخور الناريّة السطحيّة عندما تخرج الماغما Magma إلى سطح الأرض، وتسمى عندئذ لافا Lava وتبرد وتتصلب بسرعة بسبب تعرضها لدرجات الحرارة المنخفضة نسبياً، وتتكون هذه الصخور عند ثوران البراكين، أو في شقوق الرواسب البحرية الطينية (Ooze)، وهذا لا يُعطي بلّورات المعادن فرصة للتكوّن، لذا تكون صغيرة الحجم، فتكوّن نسيجاً ناعماً أو زجاجياً، ومن أهمّ صخور هذا النوع: ريوليت Rhyolite يُعدّ شبيهاً بصخر الجرانيت إلا أنّ بلّوراته أصغر، ويصنّف على أنّه من الصخور البركانية السطحية، ويتكوّن من معادن الكوارتز، والفلسبار، والميكا، والهورنبلند.

أنديزيت Andesite يُعدّ الأنديزيت من الصخور الناريّة السطحية، ويحتوي على نسبة عالية جداً من السيليكا، وهي أعلى من نسبتها في صخور البازلت لكنها أقلّ منها في صخور الفيلسيت.

بازلت Basalt يُمكن أن يكون البازلت صخراً سطحيّاً أو جوفيّاً، ويُشكل جزءاً كبيراً من القشرة المحيطيّة، حبيبات البازلت صغيرة جداً، ويتكون من: البيروكسين، وفلسبار البلاجيوكليز، والأوليفين، ويقابله صخر الجابرو الجوفي.

لاتيت Latite يتكوّن بشكل كبير من الفلسبار القلوي، ونسبة قليلة أو معدومة من الكوارتز، ويُقابله صخر المونزونيت من الصخور الجوفية.

بيرلايت Perlite تتكوّن من اللافا الغنيّة بالسيليكا، التي تحتوي على كمية كبيرة من الماء، ويُعدّ من الصخور المهمة في الصناعة.





سكوريا Scoria يُعدّ **السكوريا** من الصخور النارية السطحية خفيفة الوزن، ويتميّز بلونه الغامق، وهو غالباً أحد **نواتج** اللافا البازلتية قليلة السيليك، كما يتميز بوجود فقاعات **غازية** كبيرة.

الخفاف Pumice يُعدّ الخفاف من **الصخور** النارية السطحية الهشة، ويتميز بوجود فقاعات من الغاز تكوّنت بسبب **تبريد اللافا**.

تف Tuff يُعدّ التفّ من **الصخور الرسوبية**، فهو يتشكّل من تجمع الرماد البركاني مع صخر الخفاف أو السكوريا، لكنه **يتكون** أثناء العمليات **البركانية**، تحديداً عند خروج **اللافا الغنية بالسيليك**، التي تحتفظ **بالغازات** على شكل فقاعات، لكن عند **تتخطّم** هذه **اللافا** إلى قطع مسننة يُطلق عليها اسم **تفرا Tephra**.

داسيت Dacite يتكوّن من معادن **البلاجيوكليز**، والكوارتز، والبيروكسين، والهورنبلند، وهو **الصخر** المقابل للصخر **الجوفي توناليت**.

أوبسيديان Obsidian يُعدّ الأوبسيديان من **الصخور البركانية** الزجاجية اللامعة، ويتكون عندما تبرد **اللافا** بسرعة كبيرة جداً ما لا يسمح **للبلّورات** بالتكوّن، وعندما يُكسر فإنّه **ينكسر** بشكل **مخروطي** مُميّز، ويتميّز بلونه الأسود أو الأخضر الداكن.

كوماتاييت Komatiite يُعدّ **الكوماتاييت** من الصخور السطحية النادرة، ويقابل صخر **البيريدوتاييت** من **الصخور الجوفية**، ويحتوي على نسبة عالية من **الأوليفين**.





بازلت



أنديزيت



تف



ريولايت



خفاف (بيومس)

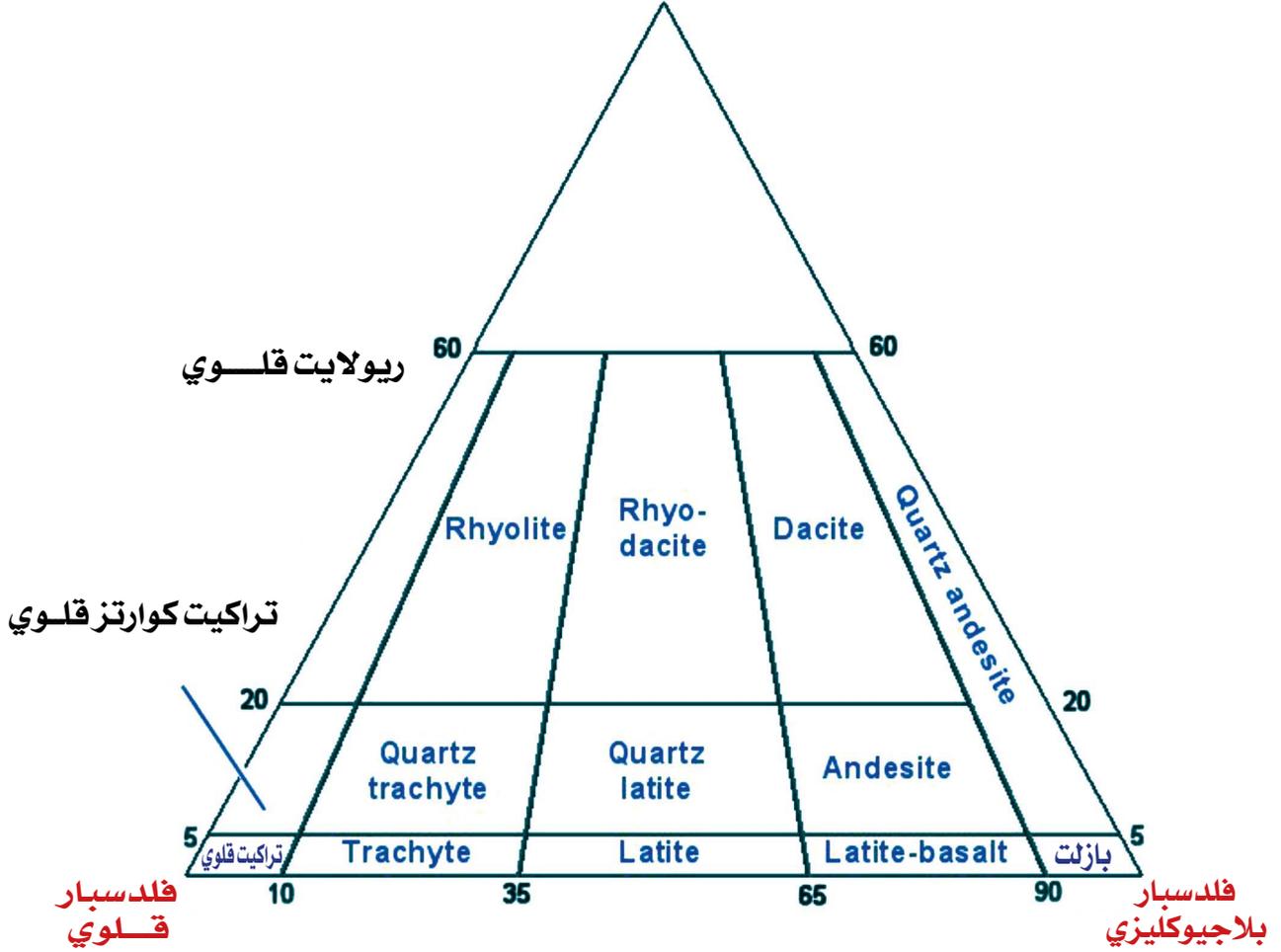


أوبسيديان

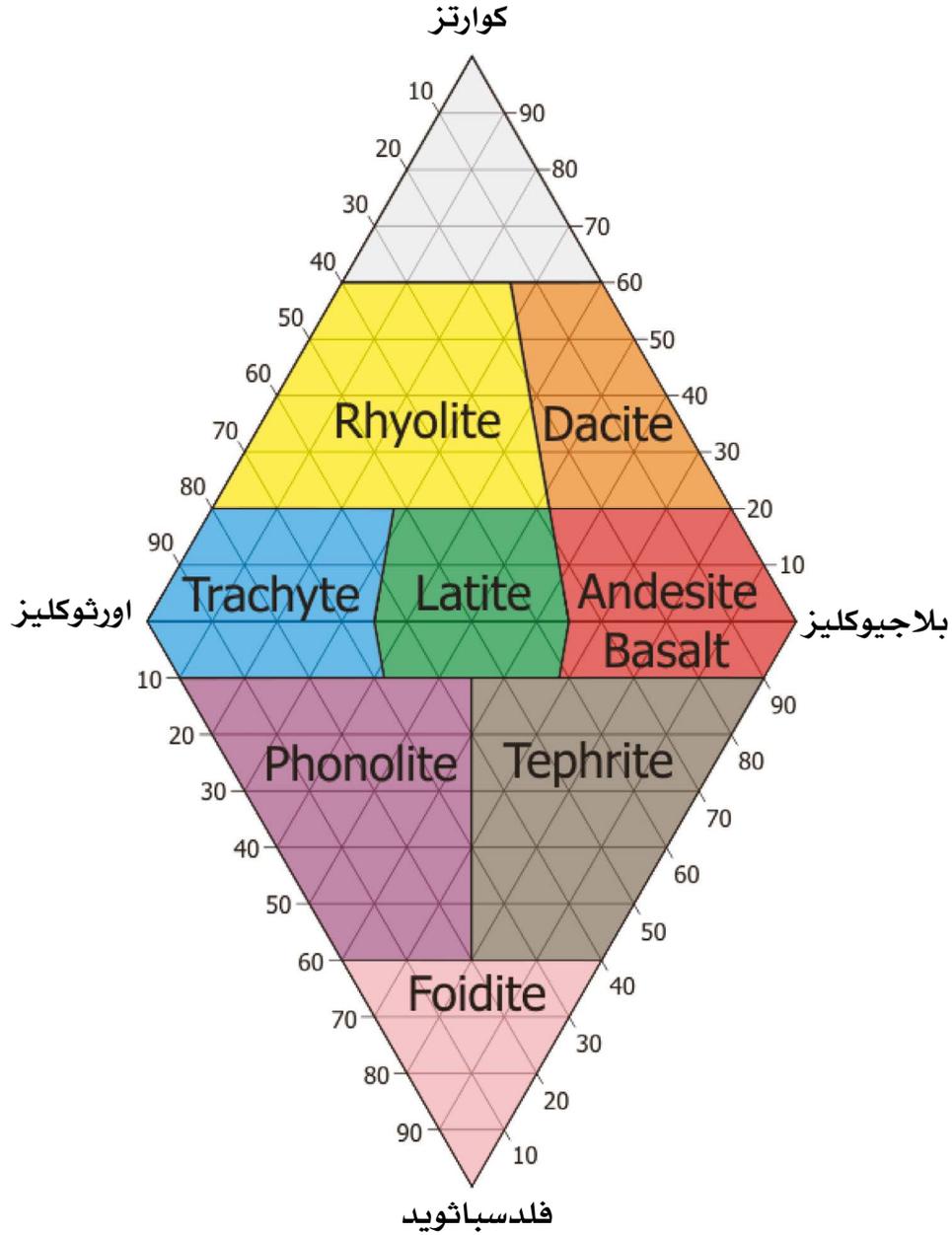
عينات من الصخور البركانية الجوفية والسطحية



كوارتز



تصنيف الصخور النارية البركانية (Winter, 2001)



مخطط تصنيف الصخور النارية للصخور البركانية طبقاً لـ IUGS.





أنواع البراكين

تنقسم البراكين من حيث نشاطها إلى ثلاثة أنواع هي:

البراكين النشطة براكين دائمة الثورة منذ نشأتها ولا تتوقف عن النشاط وتتبعث منها الحمم والمواد البركانية باستمرار، و يبلغ عددها على سطح الكرة الأرضية حوالي 467 بركاناً، ومن أمثلة البراكين النشطة بركان مونالوا ومواناكيا في هاوايي وبركان فيزوف في إيطاليا .

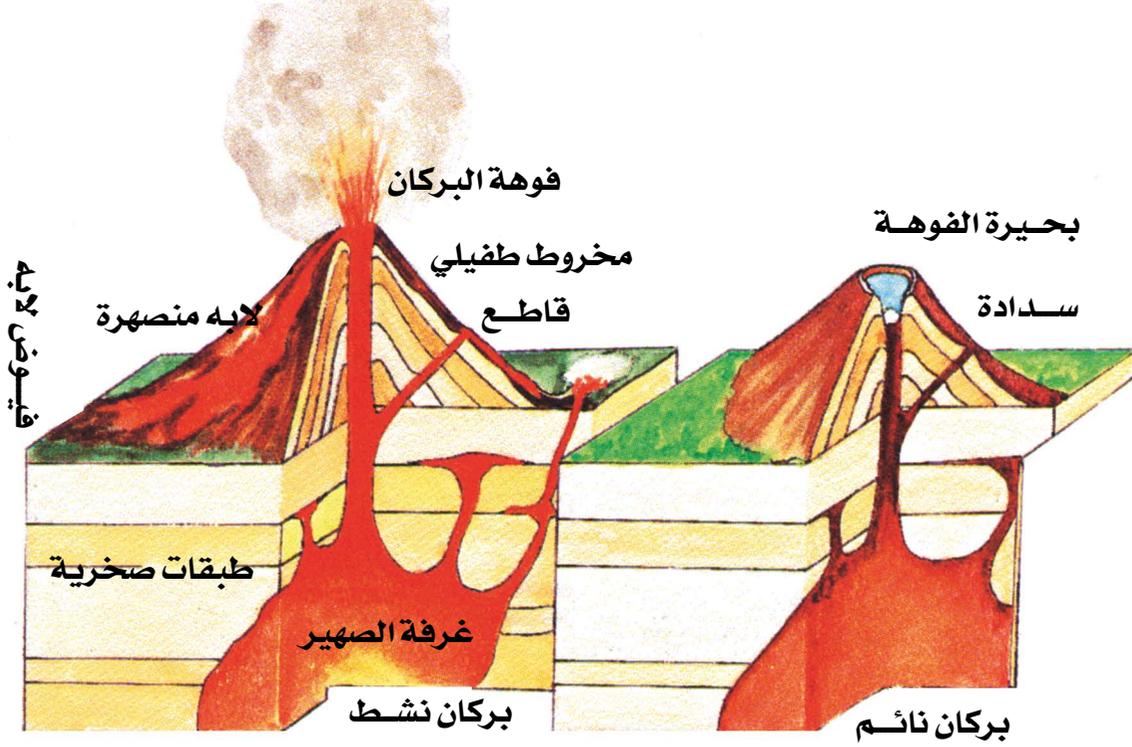
البراكين النائمة براكين التي تتوقف عن النشاط لفترة زمنية قصيرة، ثم تثور مرة أخرى ثم تتوقف ويكرر نشاطها على فترات متقطعة، ومن أمثلة البراكين النائمة بركان مونت تمبورا، بركان كراكاتوه في أندونيسيا، وبركان مونت بيليه في المارتينيك، وبركان مونت سان هيلين في ولاية واشنطن بأمريكا. وتعتبر البراكين النائمة أخطر أنواع البراكين، ويكمن خطرهما على الإنسان وممتلكاته في الأمان الظاهري الذي يحسه في فترات سكونها، ثم ثورتها البركانية فجأة على حين غفلة.

البراكين الخامدة عكس البركان النشط، فهو لا يُخرج أي مواد منه، وتتحول مع مرور الوقت لجبال بركانية وهي براكين لم يحدث لها نشاط بركاني منذ فترة طويلة جداً تزيد على 25 ألف عام ومن أمثلة ذلك البراكين التي كونت الصخور البركانية الانديزيتية والريولاتية والبازلتية التابعة للعصور الجيولوجية (من عصر ما قبل الكمبري إلى العصر الثلاثي والرباعي) مثل حرات المملكة العربية السعودية وكلها عبارة عن براكين خامدة لم تثر منذ ما يربو على 1.8 مليون عام تقريباً .





سحابة من الغاز والرماد



البراكين النشط والقائم

لا يختلف البركان الخامد في شكله عن البركان النائم ومن مميزاتها تكون حوض على قمة الفوهة يمتلئ بالمياه السطحية ليكون ما يعرف باسم بحيرة الفوهة) وقد يصل قطر هذه البحيرة إلى عشرة كيلو مترات نتيجة لتكرار الثوران البركاني وما يصحبها من عمليات هدم وتكهف في جوانب المخروط إلى داخل البركان، ويسمى هذه التركيب باسم (الحوض المرجلي) (كالديرا).





- **البراكين البحرية** براكين تنشط في قيعان المحيطات محدثة حرارة عالية في المياه إلا أنها لا تلبث أن تهدأ سريعاً لكن قد يكون لها أثر في تغيير بعض معالم قاع المحيط. ويمكن الكشف عنها من خلال انبعاث الغازات منها على سطح المحيط، وتستمر بانبعاث الغازات مؤديةً لتغير لون المياه فوق البركان.



بركان بحري. تنمو البراكين المغمورة ببطء إلى أعلى عن طريق الثورات البركانية المتكررة. عندما يصل إلى سطح الماء، يتحول إلى جزر بركانية.





- **البراكين الجليدية** تنشأ تحت القمم الجليدية، وبسبب ذوبان الجليد تبدأ **اللافا** بالانهيار مُكوّنةً قمةً مسطحةً **للجبل**. عندما **تضرب** الأمواج الحافة الأمامية، فإنها تحفر عبر الجليد، وتطلق الماء لأعلى في **الهواء**. مع استمرار هذه العملية، **يتجمد** الماء المقذوف باستمرار، مما يؤدي إلى زيادة حجم **البركان الجليدي** مع كل **(ثوران)**.





- **البراكين الطينية** تخرج من **باطن الأرض**، ويحدث **بركان طيني** في مناطق الانقسام، عندما تتحرك إحدى **الصفائح التكتونية** للأرض تحت أخرى، مما يؤدي لفرقها بسبب **الجاذبية** عند نقاط التقارب، وعادةً ما تُطلق ثورات **بركان الطين** غازات، خاصةً **الكميات الكبيرة** من **الميثان** وكميات أصغر من **النيتروجين** و**ثاني أكسيد الكربون**، وتترسب على شكل **طين**، وتُعدّ التربة الناتجة عن **البركان الطيني** تربةً خصبةً جداً.



نموذج لبركان طيني





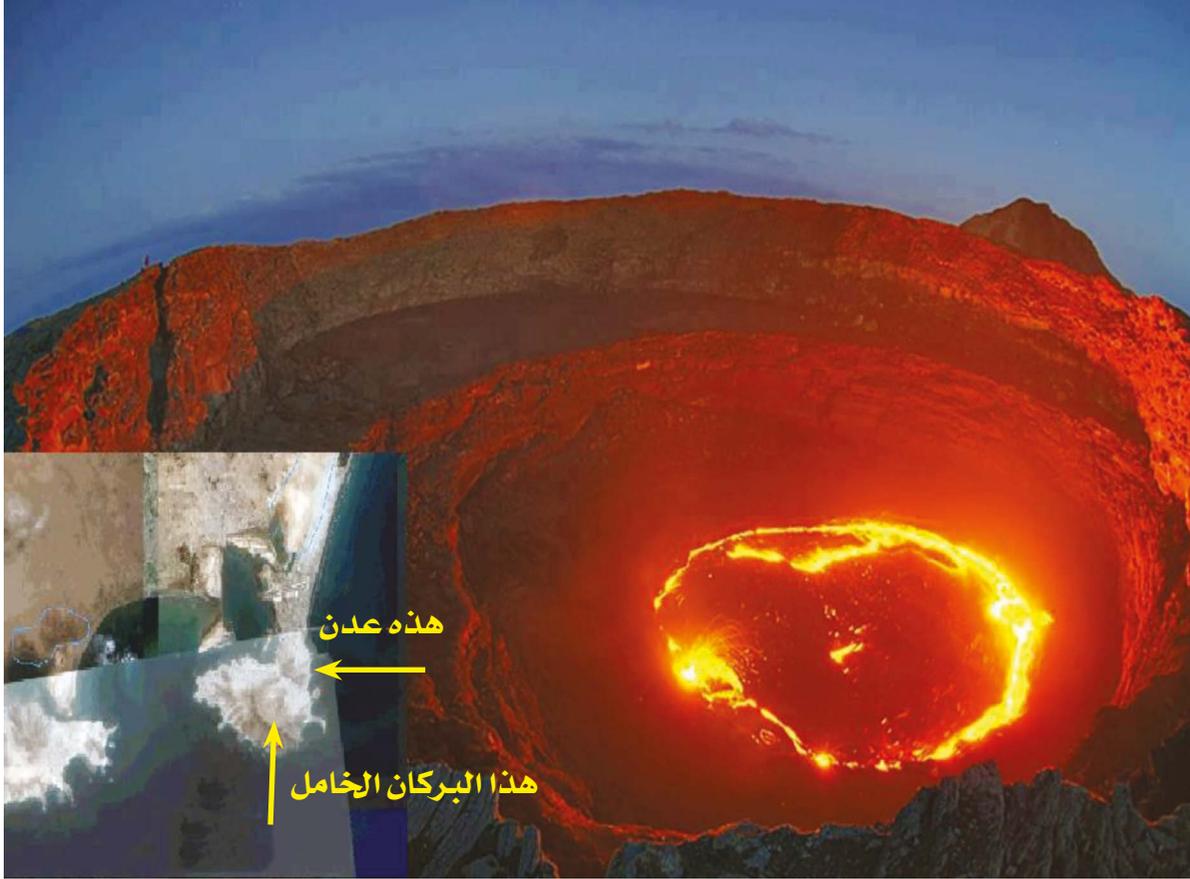
- إن حقيقة البحر المشتعل أو البحر المسجور أصبحت يقيناً ثابتاً فنحن نستطيع اليوم مشاهدة الحمم المنصهرة في قاع المحيطات وهي تتدفق وتُلهب مياه المحيط، ثم تتجمّد وتشكل سلاسل من الجبال قد يبرز بعضها إلى سطح البحر مشكلاً جزراً بركانيةً. هذه الحقيقة العلمية لم يكن يعلمها أحد أثناء نزول القرآن ولا بعده بقرون طويلة، وقد ذكر الله ﷻ هذا النوع من البراكين في كتابة حيث قال ﴿وَالْبَحْرُ الْمَسْجُورُ﴾: [الطور: 6] أي البحر الذي يتوقد ناراً ﴿وَإِذَا الْبِحَارُ سُجِّرَتْ﴾ [التكوير: 6] وروى عبد الله بن عمرو أن رسول الله ﷺ قال: (لا يركب البحر إلا حاجاً أو معتمراً أو غزياً في سبيل الله فإن تحت البحر ناراً وتحت النار بحراً) رواه أبو داود.





ظاهرة البحر المسجور ظاهرة كونية طبيعية. أما وصف البحر بأنه مسجور فقد جاء هذا الوصف من الفعل سَجَرَ، ومعناه تهيج النار، والبحر المسجور يعني الممتلئ بالماء والمكفوف عن اليابسة، الذي يكفه الله تعالى بقدرته؛ كي لا يفيض على الأرض ويُغرق أهلها، فالله تعالى ذكر أنه أسجر قاع البحر حتى أصبح مكفوفاً؛ أي أوقد في قاعه ناراً عظيمة حتى حمي قاعه، وأصبح مكفوفاً قادراً على حمل الماء.





بركان عدن يعتبر من أقوى وأعظم البراكين الموجودة على وجه الأرض، رغم أنه من البراكين الخاملة غير نائر

ذكر في صحيح مسلم قال رسول الله ﷺ بعد ما ذكر تسع علامات كبرى (نار تخرج من قعر عدن ترحل الناس) وفي رواية أخرى (تطرد الناس إلى محشرهم) ولم يكن أحد يعلم منذ ذلك العصر القديم أن عدن تقع فوق بركان عظيم حتى جاءت الدراسة البريطانية في ستينيات القرن الماضي فقط؛ لتؤكد صدق حديث رسول الله ﷺ حيث سمى العلماء هذه المدينة مدينة (فوهة البركان) لعظم هذا البركان.





أشكال البراكين

تتحكم عدة عوامل في شكل وحجم **البركان**. وتشمل هذه: حجم المنتجات البركانية وطول الفترة **الفاصلة** بين الانفجارات ومكونات **المنتجات البركانية** و تنوع أنواع **الثوران البركاني** والشكل الهندسي **لفتحة التهوية** والبيئة التي اندلعت فيها **المنتجات البركانية**. يميل **ثوران الصهارة** شديدة اللزوجة (شديدة اللزوجة) إلى إنتاج **براكين** شديدة الانحدار بمنحدرات تتراوح بين 30 و 35 درجة. ذلك لأن المادة البركانية اللزجة لا تتدفق إلى هذا الحد بعيداً عن مكان اندلاعها؛ لذا فهي تتراكم في طبقات تشكل **بركاناً** مخروطي الشكل يُعرف باسم (**البركان الطبقي**) Stratovolcano. من ناحية أخرى، تحتوي **البراكين الدرعية** Shield Volcanoes على **منحدرات** لطيفة تقل عن 10 درجات، وتتفجر بحمم أكثر سائلة تسمى **البازلت**. عندما **ينفجر بركان درعي**، يمكن أن يتدفق **البازلت** لمسافات كبيرة بعيداً عن **الفتحة** لإنتاج **منحدرات** واسعة لطيفة.

البراكين المخروطية

يقذف **الثوران البركاني** المتوسط الشدة والقوي الغبارَ والرماد البركاني واللابة في **الهواء**، لتصل إلى **ارتفاعات** كبيرة، ثم **تتصلب** المادة **المقذوفة** بسرعة في **الهواء**، وتعود إلى الأرض على شكل **مخروط**. يختلف شكل **المخروط البركاني** باختلاف المواد التي **يتركب** منها. فإذا كان **المخروط** يتركب كلية من **الحطام الصخري**، فإننا نجده مرتفعاً شديداً **الانحدار** بالنسبة للمساحة التي تشغلها قاعدته. وتتمثل في **جزر إندونيسيا**.





نموذج لبركان مخروطي حديث.

البراكين الدرعية (الهضبية)

تنشأ نتيجة تدفق **اللابة البازلتية** في صورة طبقات أفقية منبسطة والغنية بالحديد والماغنسيوم والقليل من **السيليكا** وتراكمها حول فوهة رئيسية ولهذا تبدو **قليلة** الارتفاع بالنسبة للمساحة الكبيرة التي **تشغلها**. وتبدو **قممها** أشبه بهضاب محدبة تحديداً بسيطاً وقد **نشأت** هذه المخاريط من تدفق **مصهورات الالافا** الشديدة الحرارة والعظيمة **السيولة**. إن **البراكين** الدرعية منخفضة وواسعة نظراً لأن **الحمم البركانية** تكون سائلة فهي **أقل لزوجة** من حمم





البراكين الطبقيّة - ومن ثم فهي تتنقل سريعاً وبعيداً عن فوهات البراكين، وتتمثل هذه البراكين الهضبية براكين جزر هاواي كبركان مونالوا الذي يبلغ ارتفاعه 4100م.



شكل البركان الدرعي

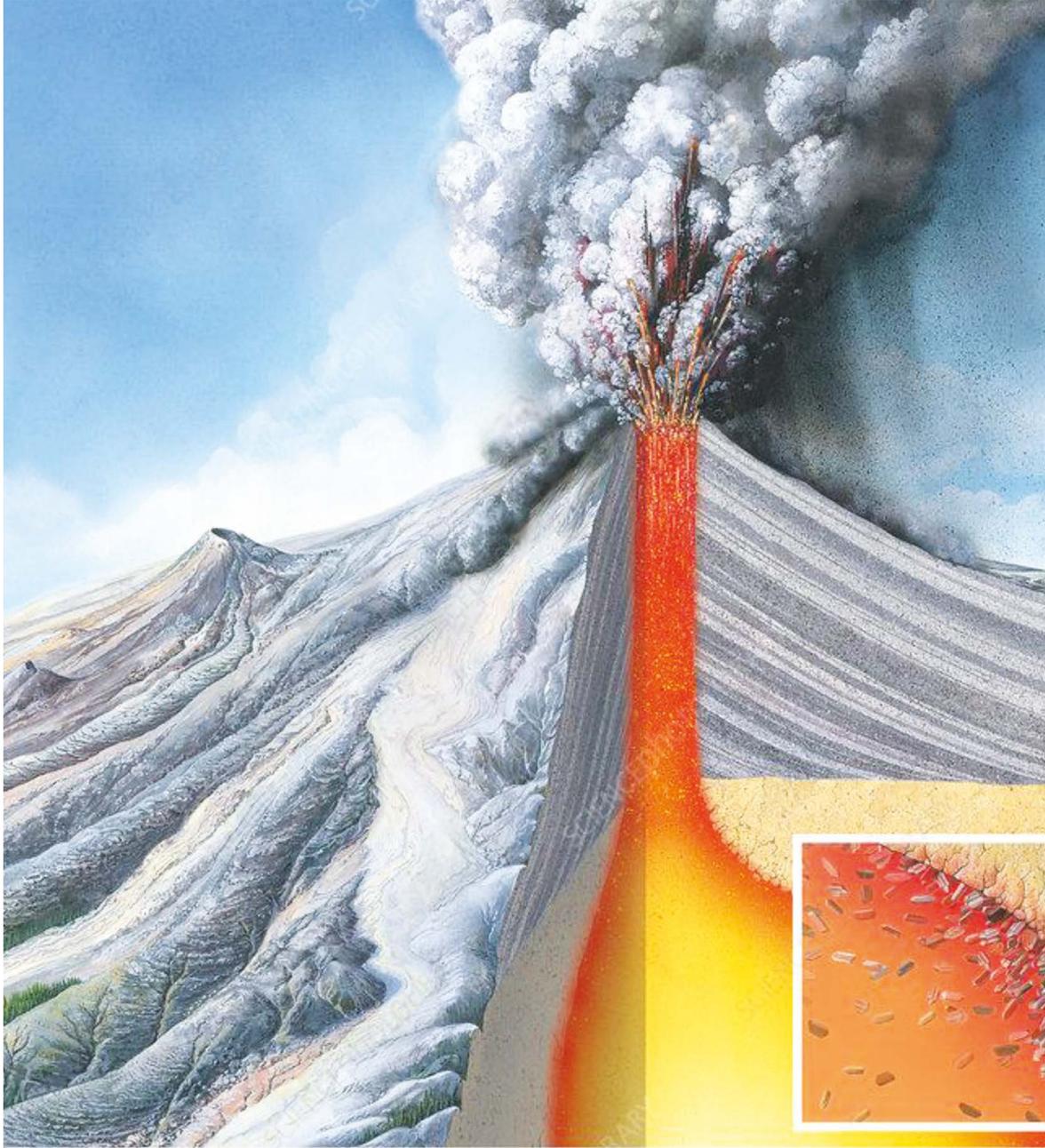


البراكين الطباقية (المركبة)

البراكين الطباقية تتكون **البراكين** الطباقية في المناطق الساحلية وعلى الجزر في مناطق الطرح القاري (حيث تعلو القشرة القارية فوق القشرة المحيطية). ولا تتور هذه البراكين كثيراً بيد أن ثوراتها غالباً ما تكون عنيفة، وتأخذ شكل مخروطي ذي فوهة على القمة. قد تكون الفوهة عبارة عن بحيرة بركانية أو حفرة تفجرت أثناء ثورة البركان العنيفة. تتركب مخروطاتها من مواد الحطام الصخري ومن تدفقات اللافا التي يخرجها البركان حين يهدأ ثورانه. وتكون اللواظف التي تخرج من البركان أثناء الانفجارات المتتالية طبقات بعضها فوق بعض، وتتداخل اللافا في هيئة أشرطة قليلة السمك. ومن هذا ينشأ نوع من الطباقية في تركيب المخروط. قد يكون صخر الأنديسايت (الذي سمي على اسم جبال الأنديز) هو النوع الصخري الأكثر شيوعاً من البراكين الطباقية، لكن البراكين الطباقية تندلع أيضاً مجموعة واسعة من الصخور المختلفة في بيئات تكتونية مختلفة.

ومن أمثلة ذلك جبل إتنا في إيطاليا وجبل سانت هيلينز في الولايات المتحدة وجبل كوتوباكسي في الإكوادور وجبل فوجي في اليابان وجبل بيناتوبو في الفلبين ومنها أيضاً بركان جبل القدر شمال شرق المدينة المنورة.





شكل البركان الطباقى (المركب)



براكين الشقوق

تتدفق عبر شقوق هذا النوع من البراكين لافا شديدة الميوعة ذات حرارة مرتفعة جداً، وتغطي مساحات من القشرة الأرضية وتأخذ اللافا (اللابة) بعد تبردها وتحولها إلى الحالة الصلبة شكل التضاريس الأصلية المنطقة التي تدفقت فيها، وفي مثل هذه الحالة تتشكل مباشرة فوق الشق مخاريط من الرماد البركاني، أو حواجز كاملة من الرماد، لكن هذه الأشكال تتهشم بسرعة تحت تأثير عوامل التعرية، وكانت براكين الشقوق أكثر انتشاراً أثناء فترات جيولوجية سابقة، ويطلق على هذا النوع من البراكين اسم البراكين اللافية.



نموذج أحد الحمم البركانية أو براكين الشقوق





البحيرات البركانية (الكالديرا)

يحدث في بعض الحالات من **الاندفاع البركاني** ذات الانفجارات **الحاوية** المواد الغازية، أن **تتحطم** الأجزاء الداخلية من **البركان** وتقذف صخورها على شكل **قطع** مختلفة الأشكال والأحجام، وتتشكل في هذه الحالة **مناطق** فارغة داخل **جسم** **البركان**، ويمكن لمثل هذه **الفراغات** أن تتكون كذلك في حالة توقف **الماجما** Magma عن الخروج، وقد يصل امتداد هذه **الفراغات** الى سطح **البركان**، وعندئذ يتشكل على السطح منخفض **عميق** حوضي الشكل له جوانب قائمة أو شديدة **الانحدار** يطلق عليه اسم **كالديرا**، يبلغ قطره عشرات الكيلو مترات.



شكل الحوض المرجلي (كالديرا)



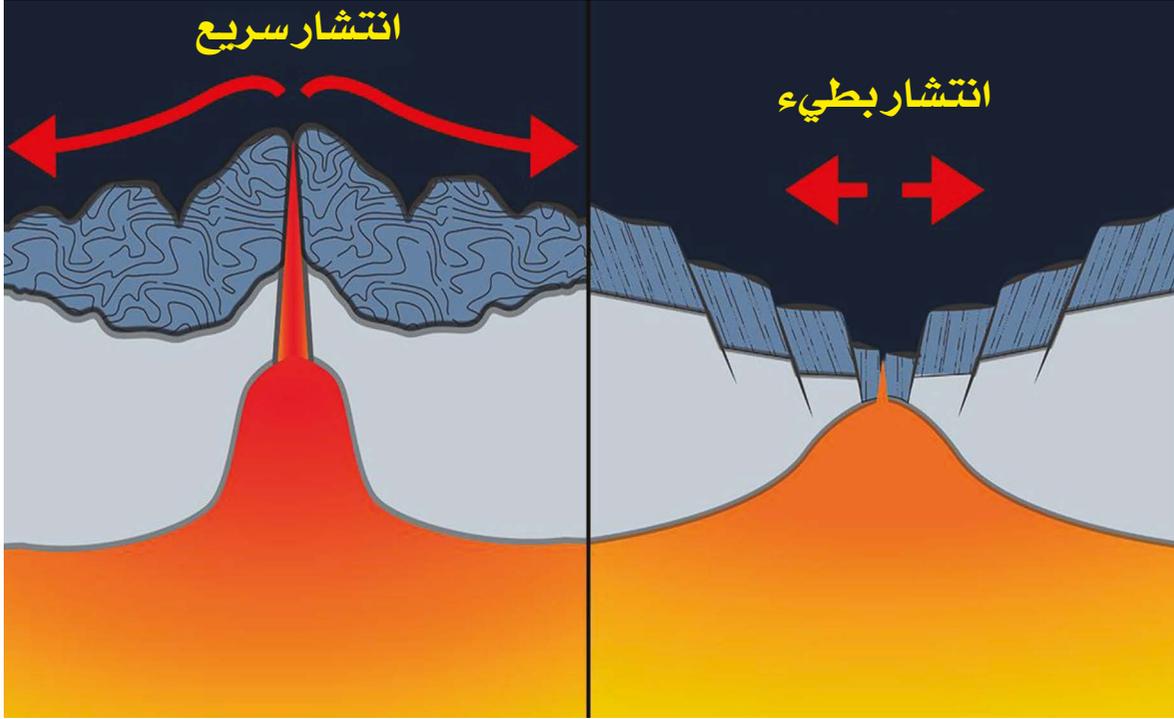


مناطق النشاط البركاني

يعد النشاط البركاني ذا صلة وثيقة بأجزاء الأرض التي تكثر بها الهزات الأرضية مما يدل على أن عمليات البركنة ذات علاقة بالعمليات الأرضية التي تحدث على أعماق كبيرة تحت القشرة الأرضية قد تصل أحياناً إلى 700 كيلو متر. وعموماً تتحصر مناطق النشاط البركاني في وسط المحيطات ومناطق الاندساس وعلى طول الحواف الجانبية للصفائح التكتونية وداخلها وذلك على النحو التالي:

- **مرتفعات وسط المحيط:** ينشأ النشاط البركاني في هذه الحالة على طول مرتفعات وسط المحيط عند حدود تباعد الصفائح التكتونية حيث ندفع الصهير من باطن الأرض (الوشاح العلوي) عبر شقوق موجودة على طول حيد منتصف المحيط (Mid Oceanic Ridge) تاركا اللابة تتجمد تحت مياه البحر لتكوين ما يعرف باسم (الحمم الوسائدية) التي تتولد منها قشرة محيطية جديدة.



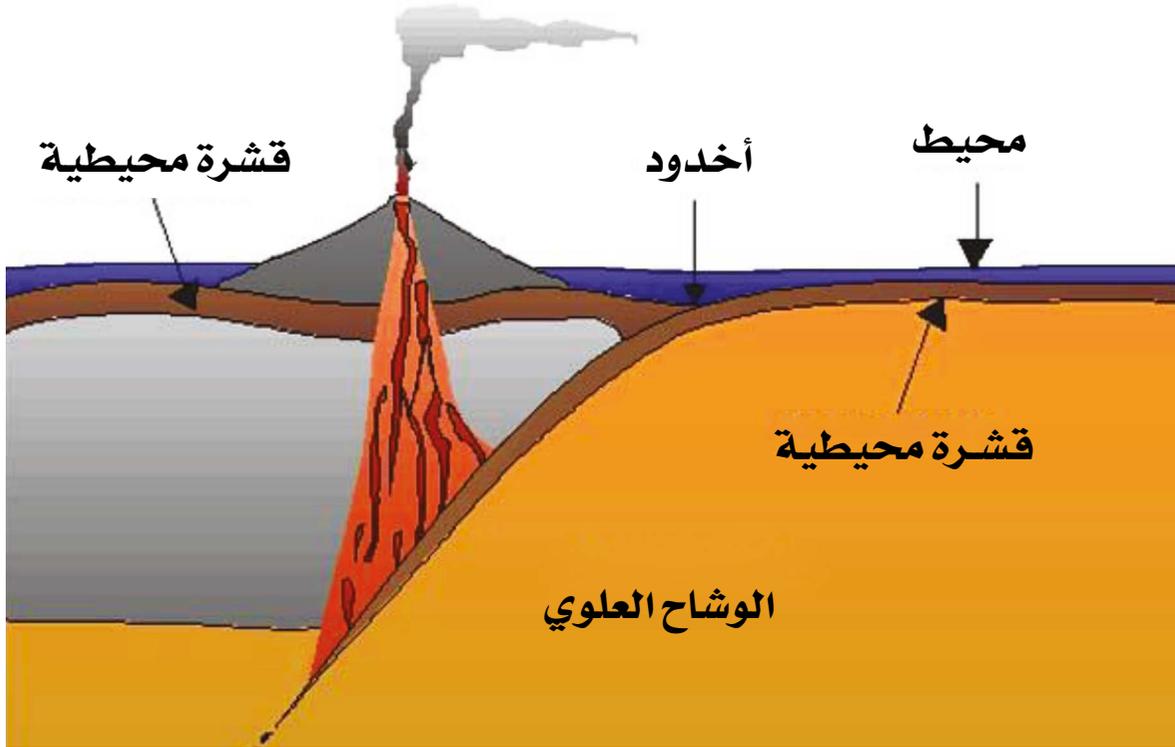


تكون الحواف المنتشرة بشكل أسرع مثل ارتفاع شمال وجنوب شرق المحيط الهادئ (أكثر سخونة)، مما يعني وجود المزيد من الصهارة أسفل محور التلال وتحدث المزيد من الانفجارات البركانية. نظراً لأن الصفيحة الموجودة أسفل قمة التلال أكثر سخونة، يعتقد العلماء أن اللوحة تستجيب لعملية الانتشار المتباينة بشكل أكثر مرونة. بينما في التلال البطيئة المنتشرة، مثل سلسلة جبال وسط الأطلسي الشمالية، يتصرف قاع البحر مثل النوجا أو ألواح الشوكولاتة الباردة - عندما يتم سحبها بدرجة كافية تتشقق وتتكسر. تتكسر قشرة المحيط عند التلال البطيئة الانتشار إلى التلال والوديان مع تجزئة قاع البحر.

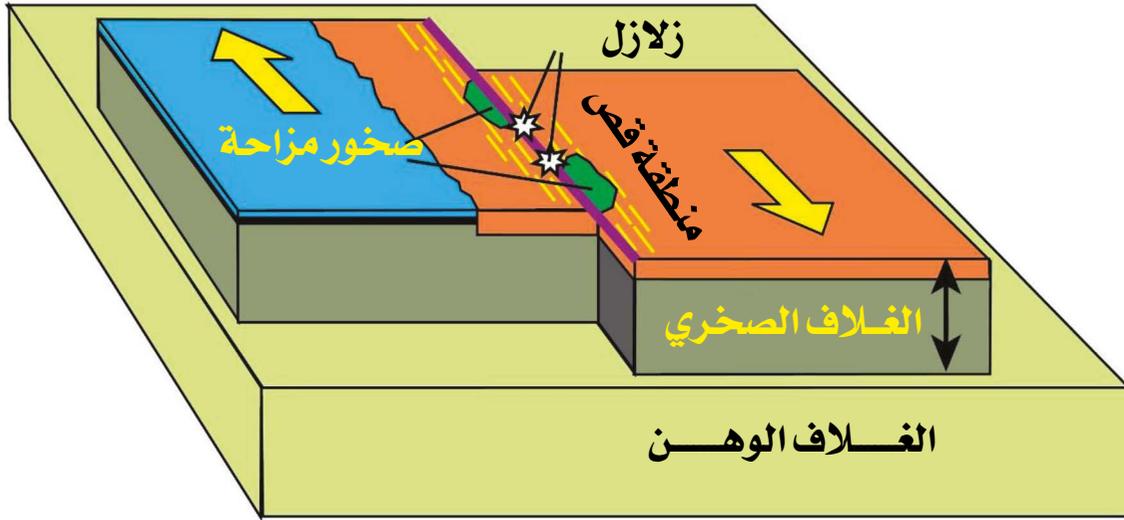
• **حواشي القارات** ينشأ **النشاط البركاني** في هذه الحالة عند حدود تقارب الصفائح التي تسمى إما بمناطق الأندساس إما **مناطق التخطي** ويرتبط بمناطق الأندساس أو **التخطي** ما يعرف باسم (**أقواس الجزر**) حيث تكون **العدد** الأكبر من **البراكين** غير المغمورة تحت الماء التي هي عبارة عن **مرتفعات وعرة**



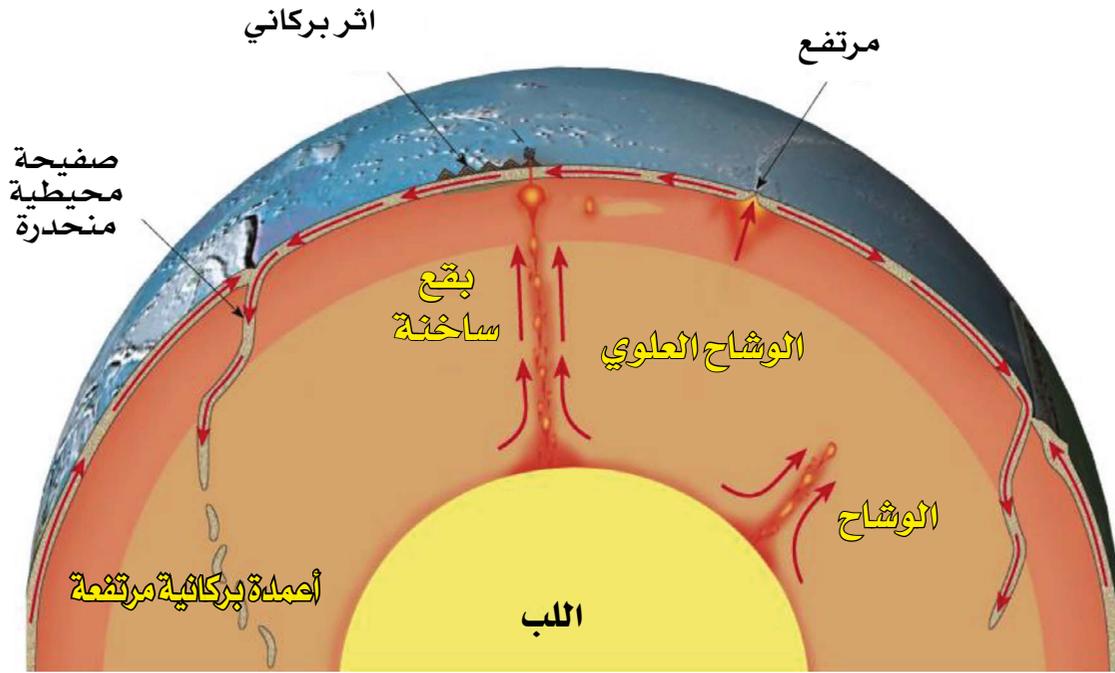
شديدة إنحدار الجوانب مكونة من فيوض اللابة والحمم والرماد البركاني ومن أمثلة ذلك تكون أقواس جزر المحيط الهادي التي تشكل نظام دائري حول المحيط وتشيع فيه أحزمة الجبال المشهورة في العالم المعروفة باسم (حلقة النار) نظراً لتكرار حدوث الزلازل عميقة البؤرة فيه وكثرة الثوران البركاني كما في اليابان والفلبين وألاسكا وغرب أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية.



- الحواف الجانبية للصفائح يمكن للنشاط البركاني أن ينشأ عند مناطق الصدوع المحولة (Transform Faults) وهي عبارة عن كسور في القشرة الأرضية تنزلق على طولها الصفائح بجانب بعضها البعض متلائمة وتناسب ببطء ويجب ذلك نشاط زلزالي (خاصة الزلازل ضحلة البؤرة) وخروج بعض الصهير.



- داخل الصفائح التكتونية لا تخلو أواسط الصفائح التكتونية من نشاط بركاني وفي هذه الحالة ينشأ العديد من البراكين دائمة النشاط فوق مناطق البقع الحارة حيث تستمد الصهير من جوف الأرض عبر مصدر يسمى (نافورات الوشاح)، ومن أمثلة ذلك سلسلة الجزر البركانية التي تشكل أرخبيل هاواي في وسط صفيحة المحيط الهادي.



يُعتقد أن البقع الساخنة ناتجة عن أعمدة الوشاح - أجسام من مواد أكثر دفئاً وأخف وزناً داخل الوشاح ترتفع بالحمل الحراري. هذه الأعمدة ترتفع لها رأس عمود منتفخ يغذيه ذيل طويل وضيق. عندما يصطدم الرأس بقاعدة الغلاف الصخري، فإنه ينتشر إلى الخارج. يُعتقد أن أقطار رؤوس الأعمدة هذه تتراوح بين 500 و 1000 كم تقريباً. مع ارتفاع العمود، ينخفض الضغط، بينما تظل درجة الحرارة مرتفعة. يتسبب هذا في ذوبان مادة الوشاح الساخن، أي تولد كميات كبيرة من الصهارة. يُعتقد أن مقاطعات البازلت ذات الفيضانات الهائلة على الأرض يتم إنتاجها عندما تصل أعمدة الوشاح الكبيرة إلى الغلاف الصخري.





ومن المعلوم أن معظم البراكين توجد ضمن أحزمة الجبال الحديثة التي لها صلة وثيقة بحدود الصفائح التكتونية في المناطق التي حدث بها تجعد وطي وتكسر حديث وقد تم خلال الخمسمائة سنة الأخيرة اكتشاف ما يقرب من 615 بركاناً نشطاً منها حوالي 30 بركاناً يثور كل عام تقريباً، ويوجد حوالي 80 بالمائة من هذه البراكين النشطة ضمن ما يسمى (حلقة النار)، الذي يمتد على السواحل الشرقية من المحيط الهادي فوق مرتفعات الأنديز إلى أمريكا الوسطى والمكسيك، وفوق مرتفعات غربي أمريكا الشمالية إلى جزر الوشيان ومنها إلى سواحل شرق قارة آسيا إلى جزر اليابان والفلبين ثم إلى جزر إندونيسيا ونيوزيلندا.

كذلك يوجد الكثير من البراكين الضخمة في المحيط الهادي، ومنها براكين جزر هاواي، التي تتركز قواعدها في المحيط على عمق نحو 5000م، وترتفع فوق سطح مياهه أكثر من 4000 م.

وفي جنوب أوروبا هناك براكين نشطة ومنها بركان فيزوف المشهور قُرب نابولي بإيطاليا، وأتتا بجزر صقلية وأسترو مبولي في جزر ليباري.

وفي مرتفعات غربي آسيا من أشهر براكينها أارات واليوزنز. وفي شرق افريقيا نجد براكين كلمنجارو. عموماً هناك توزيعان كبيران للبراكين:

الأول: (دائرة الحزام الناري)، وتقع في المحيط الهادي.

والثاني: يبدأ من منطقة بلوشستان إلى إيران، فآسيا الصغرى، فالبحر الأبيض المتوسط ليصل على جزر آزور وكناري ويلتف إلى جبال الأنديز الغربية في الولايات المتحدة.





طرق إثارة البركان

كما ذكرنا توجد **البراكين** بالقرب من حواف قطع **الصفائح** أماكن ضعيفة تعرف **بالشقوق** (Cracks) أو الشقوق. ونتيجة وجود **الصخور** في أعماق كبيرة بالأرض حيث درجة الحرارة والضغط **المتزايدين**، تذوب هذه الصخور وتتحول إلى حمم. وتبقى هذه **الحمم** تحت ضغط كبير، وهذا يساعدها على حفر نفق إلى أعلى خلال **الشقوق**، فتندفع وتخرج لمسافات تتراوح ما بين 20 و 150 كيلومتراً. وتترسب **الحمم** بالقرب من فوهة **البركان**، ثم تبرد وتكون التلال والجبال. وكلما كانت **الحمم** الخارجة أكبر، كلما كان **البركان** أعلى وأعرض.

ويثور **البركان** بطرق مختلفة. فقد يُطلق جدولاً (Stream) من الحمم المتألقة عالياً في الهواء مثل **نافورة نارية** ضخمة، أو قد يُطلق كتلاً **صلبة** من الصخور الحمراء الساخنة والجمرات (Cinders) إلى **الخارج**، أو قد ينتج عن **البركان** نهر من **الحمم** خلال الشقوق وعلى جانبيها. فإذا كانت **الحمم** خفيفة فإنها تنتشر وتصنع **بركاناً** عرضاً مستوياً، وإذا كانت **الحمم** سميكة صنعت **بركاناً** مخروطي الشكل بجوانب **منحدرة**.

ينتج عن النشاط البركاني عدد من الظواهر المختلفة، أهمها:

الينابيع الساخنة Hot Springs أو **الينابيع الحرارية** - **الينابيع الساخنة** هي نبع ينتج عن خروج المياه الجوفية الساخنة من **القشرة الأرضية**. يتم تسخين المياه المنبعثة من **الينابيع** الساخنة بواسطة الحرارة من **باطن الأرض**. إذا





تسربت المياه / تسربت بعمق كافٍ في القشرة، فسيتم تسخينها عند ملامستها للصخور الساخنة. يتم تسخين مياه الينابيع الساخنة بهذه الطريقة.

السخان Geyser هو نوع من الينابيع الساخنة التي تنفجر بشكل دوري، وتخرج عموداً من الماء الساخن والبخار في الهواء. ينفجر السخان عندما تصبح المياه الجوفية شديدة السخونة، المحصورة في العمق، ساخنة بدرجة كافية لتشق طريقها إلى السطح. السخانات هي ميزات نادرة للغاية. تحدث فقط عندما تكون هناك مصادفة لظروف غير عادية. يوجد في جميع أنحاء العالم حوالي 1000 ينبوع ماء حار، ومعظمها يقع في منتزه يلوستون الوطني الأمريكي.

التنفيس Fumaroles في سطح الأرض الذي ينبعث منه البخار والغازات البركانية. المصدر الرئيسي لبخار الماء المنبعث من الفومارول هو المياه الجوفية التي يتم تسخينها بواسطة أجسام الصهارة الموجودة بالقرب نسبياً من السطح. عادةً ما ينبعث ثاني أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين مباشرة من الصهارة. غالباً ما توجد Fumaroles على البراكين النشطة خلال فترات الهدوء النسبي بين الانفجارات. ترتبط Fumaroles ارتباطاً وثيقاً بالينابيع الساخنة والسخانات. في المناطق التي يرتفع فيها منسوب المياه الجوفية بالقرب من السطح، يمكن أن تتحول الفومارول إلى ينابيع ساخنة.

فومارول Mofette عبارة عن تنفيس بخار بركاني طبيعي غني بثاني أكسيد الكربون.

فومارول Solfatara عبارة عن تنفيس بخار بركاني طبيعي غني بغازات الكبريت.





أنواع الحمم والطفوح البركانية

كما ذكرنا هناك عدة أنواع مختلفة من **البراكين**: البراكين الطبقيّة شديدة الانحدار، والبراكين ذات **الدرع العريض**، و**قباب الحمم البركانية**. يعتمد شكل البركان في الواقع على أنواع **الحمم البركانية** التي يتكون منها. وهكذا، هناك عدة أنواع مختلفة من **الحمم البركانية**. يعتمد نوع **الحمم البركانية** الخارجة من **البركان** على محتواها **المعدني**. بعض **الحمم البركانية** رقيقة جداً، ويمكن أن تتدفق من **بركان** في **أنهار كبيرة** تمتد **لعشرات الكيلومترات**. **الحمم** الأخرى سميكة للغاية، ولا تتدفق إلا لمسافة قصيرة قبل أن تبرد وتتصلب. وبعض الحمم تكون كثيفة لدرجة أنها **بالكاد (تتدفق)** على الإطلاق، ويمكنها سد مواسير البركان. تم **تسمية** الأنواع الرئيسية لمعظم **الحمم البركانية** بأسماء (هاواي)، بسبب الطبيعة **البركانية** لجزر **هاواي**.

A'a

تُلفظ (آه-آه)، وهي عبارة عن **حمم بازلتية** لا تتدفق بسرعة كبيرة. يبدو وكأنه **كتلة** تتحرك ببطء من **الجيلي الساخن**، مع **سطح خشن أكثر برودة**. بمجرد أن يصلب، **يصبح** من **الصعب** للغاية السير عبر **السطح الشائك الحاد** للحمم **البركانية**. **تندلع** هذه الأنواع من **الحمم البركانية** عند درجات حرارة أعلى من **1000 إلى 1100 درجة مئوية**.





باهوهو Pahoehoe

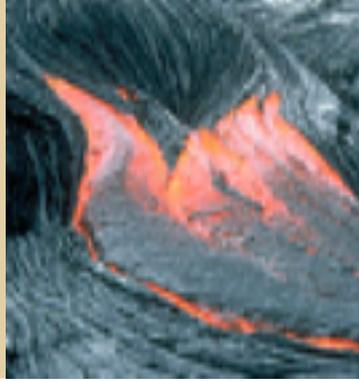
يُنطق هذا النوع من الحمم البركانية (pa-ho-ho)، وهو أرق بكثير وأقل لزوجة من a'a. يمكن أن تتدفق إلى أسفل منحدرات بركان في أنهار شاسعة. يتحول سطح الحمم البركانية إلى قشرة رقيقة تبدو ناعمة للغاية. يمكن أن تشكل حمم Pahoehoe أيضاً أنابيب الحمم البركانية، حيث تتصلب الصخور حول قلب سائل سريع الحركة. عندما يتدفق هذا اللب خارج الأنبوب، يبقى نفق طويل. ينفجر Pahoehoe عند درجات حرارة من 1100 إلى 1200 درجة مئوية.

عموماً إذا تباطأت الحمم، بردت، وتوقفت كاستجابة مباشرة للزيادة المقابلة في اللزوجة فقط، فإنها تحتفظ بشكل Pahoehoe. إذا تم إجبار الحمم على الاستمرار في التدفق بعد تحقيق علاقة حرجة معينة بين اللزوجة ومعدل إجهاد القص، تتغير الحمم إلى aa.

الحمم الوسادية Pillow Lava

الحمم الوسادية هي النوع الأكثر وفرة من حيث الحجم لأنها تتفجر عند التلال وسط المحيط ولأنها تشكل الجزء الغاطس من الجبال البحرية والبراكين الكبيرة داخل الصفيحة، عادة ما يتم العثور على حمم الوسادة منبثقة من فتحات البركان تحت الماء. بمجرد ملامسة الحمم للماء، تبرد وتشكل قشرة صلبة. مع حدوث المزيد من مشاكل الحمم البركانية من الفتحة، تخرج قشرة الحمم البركانية والمزيد من (الوسائد) من هذه الشقوق.





Pahoehoe Lava



A'a' Lava



Lava Flow



Lava Fountain



Lava Pillow



Lava Lake

أنواع اللافا (الحمم)





الجزء الداخلي يتشكل من تدفق الحمم البركانية عمودياً Columnar Joints
بسبب الانكماش الحراري

الطفوح (الانفجارات) البركانية

بشكل عام، يمكن تصنيف الثورات البركانية إما على أنها مندفعة أو متفجرة. تتضمن الانفجارات الانسيابية تدفق الصهارة البازلتية التي تكون منخفضة نسبياً في اللزوجة وفي محتوى الغاز. تشمل الانفجارات المتفجرة عموماً الصهارة الأكثر لزوجة وتحتوي على نسبة أعلى من الغاز. غالباً ما يتم تحطيم هذه الصهارة إلى أجزاء من الحمم البركانية عن طريق تمدد الغاز المتفجر أثناء الانفجار.





عادة ما يتم تقسيم **مخططات التصنيف** القائمة على طبيعة **الثوران** والنشاط البركاني والمناطق **البركانية** إلى ستة أنواع رئيسية، كما هو موضح تخطيطياً في الرسم التخطيطي. تم سردها على النحو التالي **بترتيب** زيادة درجة الانفجار:

قد تنقسم الانفجارات البركانية إلى ستة أنواع رئيسية: الأيسلندية Icelandic، وهاواي Hawaiian، وسترومبوليان Strombolian، والفولكاني Vulcanian، والبيلان Pelean، والبلنيان Plinian.

يتميز النوع الأيسلندي بانصباب الحمم البازلتية المنصهرة التي تتدفق من شقوق متوازية طويلة. غالباً ما يؤدي هذا التدفق إلى بناء هضاب الحمم البركانية.

نوع هاواي مشابه للصف الأيسلندي. ومع ذلك، في هذه الحالة، تتدفق الحمم البركانية السائلة من قمة البركان والشقوق الشعاعية لتشكيل براكين درع، وهي كبيرة جداً ولها منحدرات لطيفة.

تتضمن ثورات سترومبوليان رشقات نارية معتدلة من الغازات المتوسعة التي تقذف جلطات من الحمم البركانية المتوهجة في ثورات صغيرة دورية أو مستمرة تقريباً. بسبب هذه الانفجارات الصغيرة المتكررة، أطلق على بركان (سترومبولي) الواقع على جزيرة سترومبولي قبالة الساحل الشمالي الشرقي لإيطاليا، اسم (منارة البحر الأبيض المتوسط).

النوع البركاني، الذي سمي على اسم جزيرة فولكانو بالقرب من سترومبولي، يتضمن عموماً انفجارات معتدلة من الغاز المحمل بالرماد البركاني. يشكل هذا الخليط غيوماً بركانية داكنة ومضطربة تصعد وتتوسع بسرعة في أشكال معقدة.





يرتبط **ثوران البركان** بالانفجارات **المتفجرة** التي تولد تدفقات حممي **البركانية**، ومخاليط كثيفة من **الشظايا البركانية** الساخنة والغازات الموصوفة في **قسم الحمم البركانية** والغاز والمخاطر الأخرى. سميت (**الانفجارات البركانية**) على اسم الثوران المدمر **لجبل بيليه** في جزيرة **مارتينيك الكاريبية** عام 1902. والملاط **المميع** الناتج عن هذه **الانفجارات** أثقل من الهواء لكنه منخفض للزوجة ويصب في **الوديان** والمنحدرات بسرعات كبيرة. نتيجة لذلك، فهي **مدمرة للغاية**.

النوع البليني هو نوع **عنيف** بشكل مكثف من **الثوران البركاني** يتجلى في **اندلاع جبل فيزوف** في **إيطاليا** عام 79 م الذي قتل **العالم الروماني الشهير بليني الأكبر** ووصف في رواية **شاهد عيان** من قبل ابن أخيه، **المؤرخ بليني الأصغر**. في هذا النوع من **الثوران البركاني**، **تولد الغازات** التي تغلي من **الصهارة الغنية** بالغاز انفجارات **نفثية هائلة** ومستمرة تقريباً تعمل على قلب **قناة الصهارة** وتمزقها. **تشبه الغازات المتدفقة** والشظايا **البركانية** انفجاراً صاروخياً ضخماً موجهاً **عمودياً** إلى أعلى. يمكن أن ترتفع **السحب البركانية البركانية** إلى طبقة **الستراتوسفير** وتنتج أحياناً بشكل مستمر **لعدة ساعات**. **الصواعق** الناتجة عن **تراكم الكهرباء الساكنة** شائعة بالقرب من **سحب الرماد البليني**، مما يضيف **عنصراً آخر من الرعب إلى الانفجار**.





		
Effusive Eruption	Pyroclastic Flow	Phreatic Eruption
		
Plinian Eruption	Strombolian Eruption	Vulcanian Eruption

أنواع الطفوح (الانفجارات) البركانية





لماذا بعض الانفجارات البركانية شديدة الانفجار بينما البعض الآخر مذهل للغاية لكنه غير ضار نسبياً؟

هناك أربعة عوامل على الأقل تلعب دوراً في تحديد شدة الانفجار: كمية الغاز المذاب في الصهارة، ولزوجة الصهارة، ومعدل إزالة ضغط الصهارة أثناء صعودها نحو السطح، وعدد مواقع التتوي التي يمكن أن تبدأ الغازات فيها شكل فقاعات. تحتوي البراكين المتعلقة بحواف الصفائح المتقاربة بشكل عام على نسبة عالية من الغاز، وصهارتها شديدة اللزوجة. هذا المزيج قابل للانفجار لأن الغازات لا يمكن أن تغلي بسهولة؛ بدلاً من ذلك، تظل مكبوتة حتى تصل إلى الضغط الذي ينفخون فيه الصهارة اللزجة إلى شظايا. معدل تقليل الضغط يتحكم أيضاً في الانفجار. إذا تحركت الصهارة ببطء نحو السطح، فسيتم إطلاق غازاتها المذابة ببطء ويمكنها الهروب.





النشاط البركاني في شبه الجزيرة العربية

لا يوجد في المملكة أي نشاط **بركاني** في الوقت الحاضر - ولله الحمد - وليس هناك أي دلائل تشير إلى قُرب حدوث أي **ثوران بركاني** - والله أعلم في المستقبل **القريب** رغم حدوث بعض **الهزات** الأرضية المتوسطة القوة في **الجزء الشمالي الغربي** و**الجنوب الغربي** من المملكة. أما النشاط **البركاني** السابق فأثاره واضحة وكثيرة وينحصر في **صورتين**:

النشاط البركاني القديم:

وهو الذي حدث منذ أقدم **العصور الجيولوجية** أي بدأ من عصر ما قبل **الكمبري** واستمر في **الحدوث** في **الكمبري** و**البرمي** و**الثلاثي** بتقطع حتى **حوالي 30 مليون عام مضت** حيث توقف النشاط وبقيت آثاره على **هيئة** صخور بركانية قديمة، مثل: **صخور** البازلت والريولايت والانديزايت القديمة

النشاط البركاني الحديث:

هي **صخور نارية قارية** تمثل **مجموعتين** أو أكثر أي مجموعة **قديمة** ومجموعة حديثة تختلفان في **تركيبهما العام** ووضعهما **البنائي**، و**كلاهما** انعكاس لطورين منفصلين من النشاط **الصهيري متزامنين** مع طورين مختلفين من النشاط التكتوني (**الحركي**). وعمر النشاط **البركاني** الحديث خلال **الطورين** يقل عن **30 مليون عام** وبينهما فترة من **الهدوء النسبي**، وقد نتج عن **الطورين** صخور بركانية مميزة.





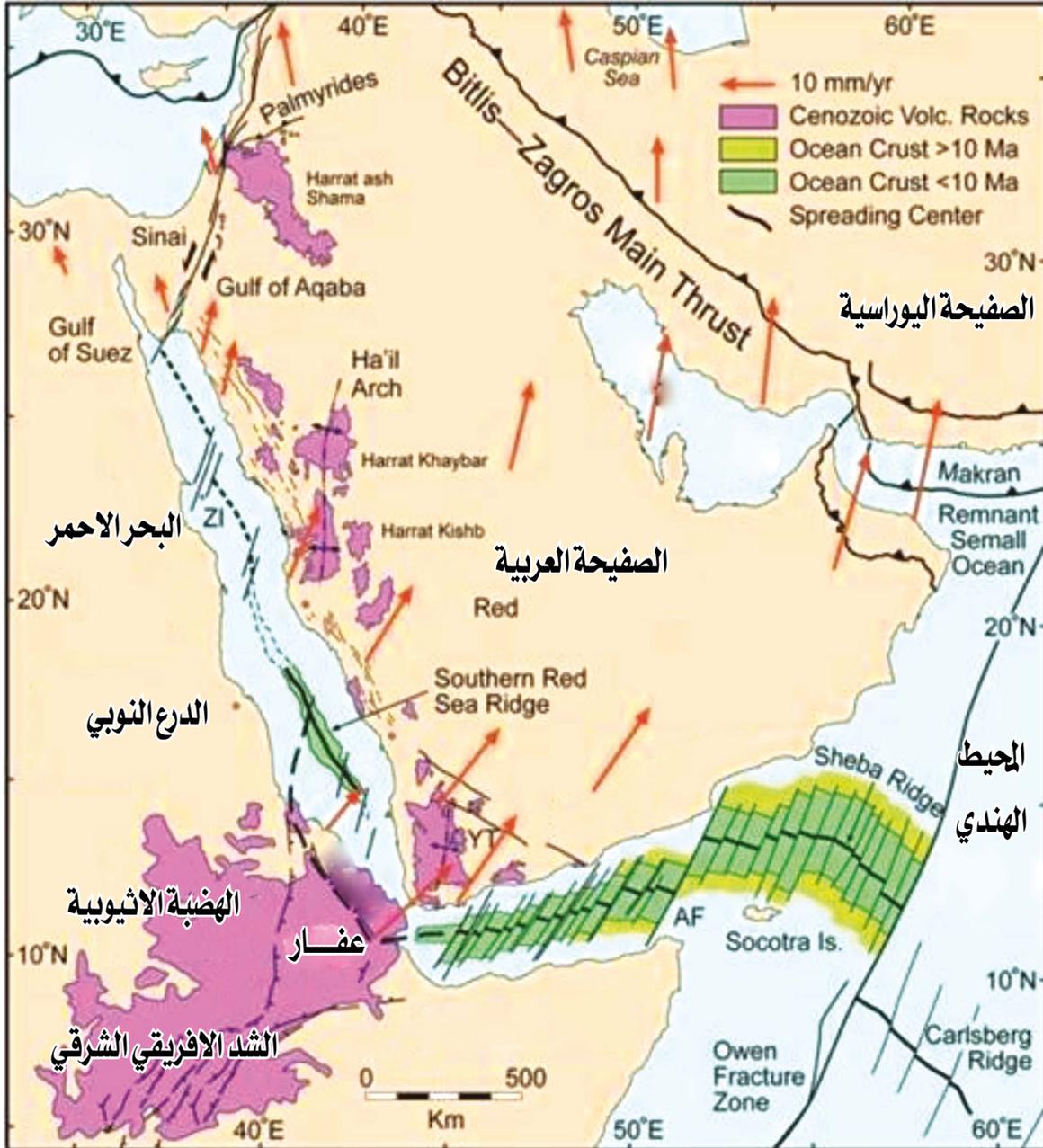
الصخور النارية البركانية التي تكونت في الطور الأول: هي صخور ناتجة عن الطور الحركي الأول، الذي حدث منذ 30 ملون عام واستمر حتى 20 مليون عام خلت وهي عبارة عن صخور سطحية مكونه من صهير ثوليايتي ولابات من البازلت الانتقالية وقد تخرجت هذه اللابات على طول اتجاهات بنائية (شقوق) ممتدة من الشمال إلى الغرب موازية لمحور البحر الأحمر.

الصخور النارية البركانية التي تكونت في الطور الأخير: وهي الصخور البركانية التي نتجت عن الطور الثاني وهي عبارة عن لابات من البازلت الانتقالي والبازلت القوي وقد توضع على طول اتجاهات بنائية شماليه نوعاً ما تتباعد عن امتداد محور البحر الأحمر بزاوية قدرها حوالي 25° ، وقد امتد عمر تطور هذه الصخور منذ 12 مليون عام حتى العصر الحديث. أما الفترة التي امتدت بين 20-12 مليون عام خلت فهي فترة هدوء فلم يكن بها نشاط بركاني يذكر في المملكة.

• **الصخور النارية البركانية الحديثة جداً:** وهو الصخور البركانية التي نتجت عن المراحل الأخيرة من الطور الثاني وهو عباره عن لابات من البازلت القوي وقد توضع على نفس اتجاهات الطور الثاني متباعدة عن امتداد محور البحر الأحمر بزاوية تقارب 25° وهي تصنف ضمن صخور الطور الثاني.

اتضح أن اتساع البحر الأحمر كان ذا علاقة تزامن وثيقه مع نشوء مقاطعات البازلت القوي في المملكة وهي إحدى أكبر مقاطعات الصخور البركانية البازلتية - قلووية في العالم وهي في المملكة تسمى (الحرث) وتغطي الحرث مساحة قدرها حوالي 180000 كم² تشكل عدة حقول من اللابة على طول جوانب منخفض البحر الأحمر.





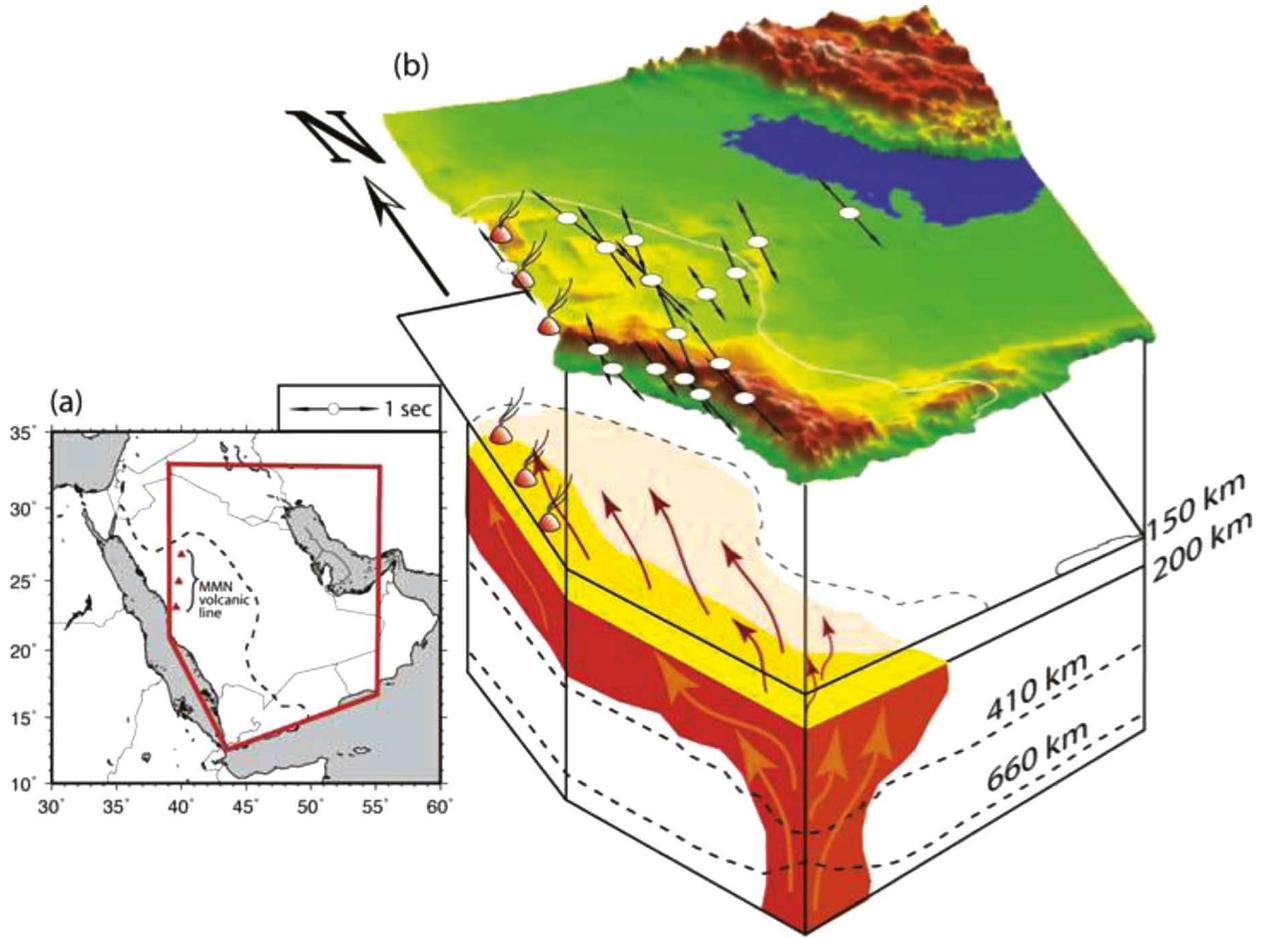
الحقول البركانية الحديثة والمتزامنة مع مرحلتي انفتاح البحر الاحمر





دلت النماذج الحديثة للتراكيب القشرية والوشاح العلوي أن تمدد قاع البحر الأحمر يتغير من شماله إلى جنوبه حيث يزداد التمدد كلما اتجهنا جنوباً ليصل إلى 14 ملم في السنة، ويصل عمق الحد الفاصل بين الغلافين الصخري والوهن LAB إلى 55 كم تقريباً بالقرب من ساحل البحر الأحمر وما بين 100-110 كم تحت الدرع العربي. أن هناك مجريين ريشيين تحت الدرع العربي وأن المناطق منخفضة السرعة (مناطق ذات درجة الحرارة الأعلى) مرتبطة بالنشاطات البركانية والخواص الطبوغرافية على سطح الدرع العربي. علاوة على ذلك هناك مرحلتان من الشد في البحر الأحمر حيث التمدد والتعرية بالانسياب في الغلاف الوهن وأن هذا الغلاف ينساب تحت الدرع العربي والبحر الأحمر؛ حيث تخترق الصحارة المنطقة الإنتقالية تحت مثلث عفار وتسير ببطء عبر قنوات إلى جنوب البحر الأحمر وشبه الجزيرة العربية.





نموذج يوضح العلاقة بين نشأة البقع الساخنة في البحر الأحمر والوشاح العلوي. دلت نتائج فصل موجات القص أن الصهارة تخترق المنطقة الانتقالية تحت مثلث عفار وتسير ببطء عبر قنوات إلى جنوب البحر الأحمر وشبه الجزيرة العربية.





وتشير دلائل السجلات التاريخية للأحداث الزلزالية والبركانية أن الصفيحة العربية وجدت ضمن نظام بيئي حركي نشط داخل القارة؛ حيث إن النشاط البركاني داخل الصفيحة أنتج 21 ثوراناً بركانياً على الأقل على الجزيرة العربية خلال آلاف السنين الماضية، وكان آخر ثوران بركاني سنة 1937م في ذمار شمال اليمن وبركان جزيرة جبل الطير عام 2007 م ويحتمل أن كثيراً من الثورانات البركانية التاريخية قد حدثت دون أن تسجل وهناك العديد من فيوض البازلت داخل سهول اللابة النائية انتهى أثرها بسبب التعرية الشديدة وتراكم الطين والرمل.

ومن الجدير بالذكر أن معظم هذه الحقول عبارة عن فيوض من البازلت الأوليفيني القلوي والانديزايت تتخللها بعض الفوهات البركانية ومخاريط الرماد والتوفه البركانية ويتراوح عمرها بين الأيوسين والهولوسين، وقد استمر هذه النشاط البركاني حتى الماضي القريب، ومن هذه الحقول البركانية:

- حرة الحرة وحرّة العويرض في الشمال.
- حرة خيبر والإثنين والمدينة ورهط وهتيم وليونير في أواسط الشمال الغربي.
- حرة كشب والطائف وحدان والنواصف والبقوم.
- حرة البرك في الجنوب الغربي.

عموماً تكونت هذه الحرات على مرحلتين من النشاط البركاني وذلك بناءً على اتجاهات المخاريط البركانية وأعمارها، وتركيبها الكيميائي. المرحلة الأولى،





كانت من نحو (15 إلى 30) مليون سنة ومرتبطة بأخدود البحر الأحمر ومتوازية مع اتجاه البحر الأحمر، عبارة عن طفوح من الداسايت والريولايت الشديدة التحول وما يطابقها من الفتات والرماد البركاني المتساقط مكونة تلالاً من عهد الميوسين فوق ساحل البحر الأحمر. وتشمل هذه الطفوح وحدات من مجموعة جيزان التي يُحتمل أن تكون قد ترسبت في عهد الأوليجوسين المتأخر أو الميوسين المبكر، حيث تظهر جلياً في جنوب غرب المملكة العربية السعودية قُرب الحدود مع اليمن.

المرحلة الثانية من النشاط البركاني (أقل من 12 مليون سنة)، عبارة عن طفوح بازلتية تكون هضاباً من عصر الميوسين - الهولوسين تتكشف فوق الدرع العربي حيث تظهر عموماً على شكل براكين ومخاريط بازلتية تكونت على طول أخدود نشط باتجاه جنوب - شمال، وبطول 900 كم يمتد من القنفذة في الجنوب حتى الجزء الجنوبي لصحراء النفود في الشمال (خط مكة المدينة النفوذ البركاني). وقد توافقت بعض هذه الحرات مع اتجاه صدع نجد (الشمالي الغربي) مثل: حرات عويرض - هتيمة - خيبر - ورهاط.

تتميز هذه الحرات بأنها تكونت نتيجة نشاط بركاني يطلق عليه نشاط أحادي التكوين، الذي يعني أن الثوران البركاني يحدث مرة واحدة في فترة زمنية معينة وفي مكان معين، ثم ينتهي، كما حدث في الثوران التاريخي في حرة المدينة سنة (654هـ) ولا يعود أو يتكرر النشاط من هذه البراكين مرة أخرى وأن أي نشاط آخر مستقبلي سيحدث في مكان آخر، مكوناً صحارة وبراكين جديدة وهكذا.





بعض أشكال الحرات البركانية في المملكة





توقع النشاط البركاني

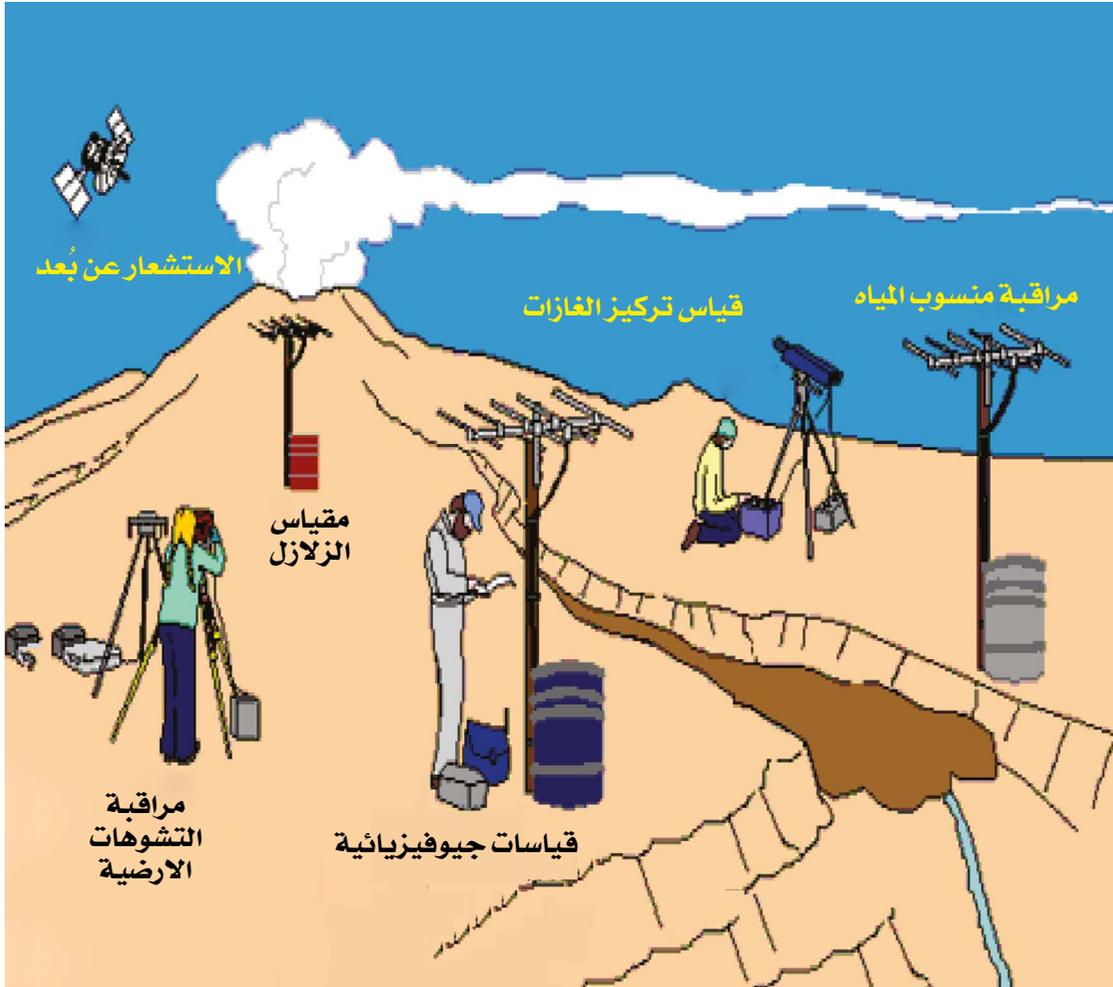
يمكن التنبؤ بثورة البركان اليوم بدرجة عالية من الدقة، حيث يمكن مراقبة
البراكين النشطة بالوسائل التالية:

- مراقبة البراكين بالوسائل الجيوفيزيائية حيث إن حدوث الثوران يتم بعد تحرك كميات كبيرة من الصهير موجود تحت البركان وهذا يؤدي إلى تغير المجال المغناطيسي والظروف الحرارية المحلية بحيث يمكن اكتشاف ذلك الحرارية المحلية بحيث يمكن اكتشاف ذلك بالأجهزة الجيوفيزيائية وأجهزة الاستشعار عن بُعد.
- طبوغرافية البركان مثل ميل قمته وانبعاجها أو انتفاخها أو هبوطها مما يدل على حركة الصهير وصعود إلى أعلى.
- مراقبة السلوك الزلزالي حيث يصحب صعود الصهير العديد من الهزات الأرضية الصغيرة التي يمكن تسجيلها بواسطة مقياس الزلازل (السيزموغراف) وهي تدل على قرب الثوران البركاني.
- مراقبة التغير في كيميائية الغاز البركاني وزيادة كمية الغازات والدخان والأبخرة المتصاعدة.
- إجراء دراسات جيولوجية مفصلة لمنطقة البركان للتعرف على إمكانية حدوث ثوران بركاني في المستقبل، ومن أمثلة ذلك دراسة مراحل تطور البركان واختلاف على التكرار الدوري لثوران البركان ومدة هدوئه أو وجود في الحالة النائمة.





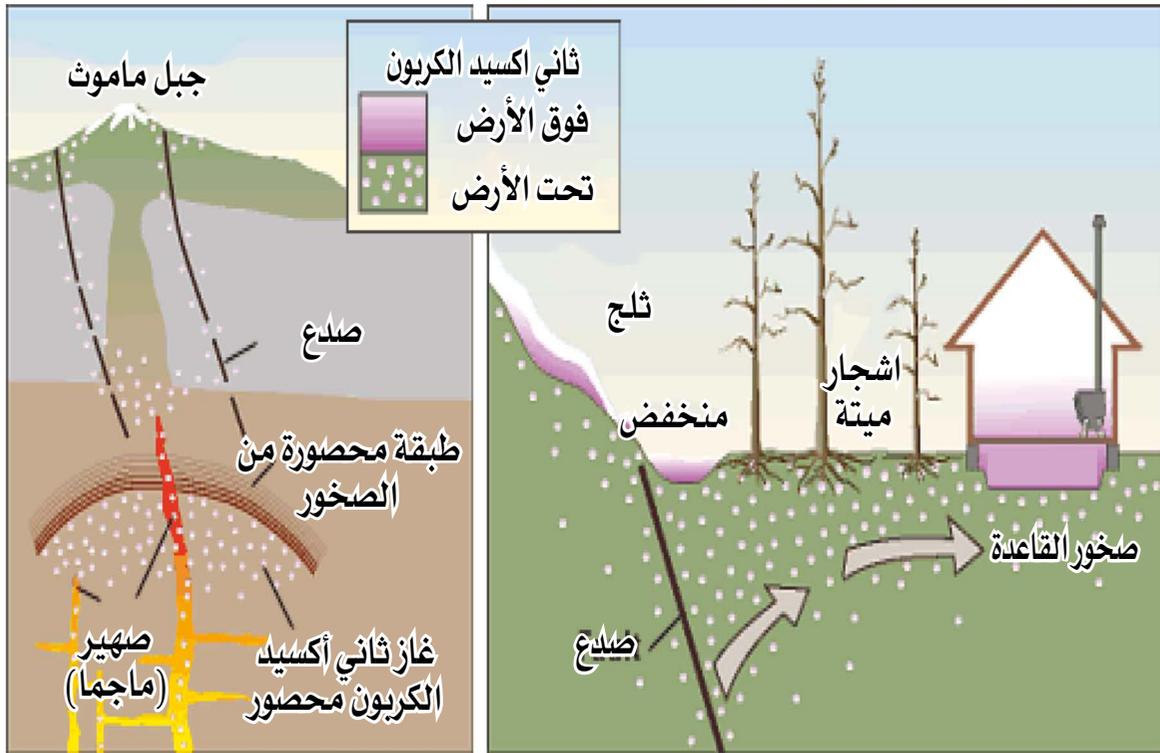
- تتبع نشاط المداخن والينابيع الحارة والنطق الحرارية المائية في منطقة البركان
- ومن الدراسات الحديثة في هذا المجال استخدام الأقمار الصناعية؛ حيث يمكن بواسطتها استعمال جهاز قياس الميل Tilt meter الذي يدلنا على تغير ميل التراكيب الجيولوجية نتيجة اندفاع الصهارة من أسفل إلى أعلى وحدوث تفلطح في المنطقة، التي يبدأ يتكون فيها المخروط البركاني الذي تخرج منه الحمم.



وسائل قصيرة المدى لتوقع البركان قبل حدوثه



أربعة أنواع من السجلات الزلزالية تقوم بقياس قوة حركة الأرض عند مستويات مختلفة في القشرة الأرضية لمراقبة النشاط البركاني



استخدام مراقبة التغير في كيميائية الغازات البركانية وزيادتها كوسيلة لتوقع البركان



إجراءات مواجهة مخاطر البراكين

- من الصعوبة تجنب الثورة البركانية. ولا بُدَّ من وقوع خسائر في المناطق القريبة من البركان النشط. لكن يجب التقليل من هذه الخسائر باتباع الآتي:
- وضع مخطط لمواجهة خطر البركان عند حدوثه في المناطق التي تقذف عادة بالحمم البركانية والحطام المتطاير.
- وضع قواعد ولوائح معينة لطريقة استخدام الأرض في هذه المناطق كأن تُصدر الحكومة أمراً بعدم التشييد في هذه المناطق مثلاً أو على الأقل التحكم في استخدامها.
- مراعاة إشارات الإنذار مع الإخلاء الفوري فور سماعها.
- متابعة وسائل الإعلام والالتزام بما يصدر من تعليمات.
- اتخاذ التدابير للحماية من الغازات البركانية السامة ومعرفة مدى الحاجة للأكسجين باستخدام الوسائل المعروفة لقياس الأكسجين أو باستخدام الكمامات.
- حماية الجسم والرأس من المقذوفات الدقيقة المتطايرة من فوهة البركان.
- الابتعاد عن الأماكن المنخفضة التي قد تتعرض للفيضان بسبب ذوبان الجليد حول فوهة البركان أو التعرض للأمطار الغزيرة في وقت متزامن مع ثورة البركان.
- استخدام النظارات لحماية العيون من الرماد شديد الحرارة.
- العمل على تنظيف أسقف البيوت من الرماد البركاني ومع تراكم الرماد المتساقط وتحذير السكان من انهيار الأسقف الضعيفة التشييد.



الفوائد والأضرار الناجمة عن البراكين

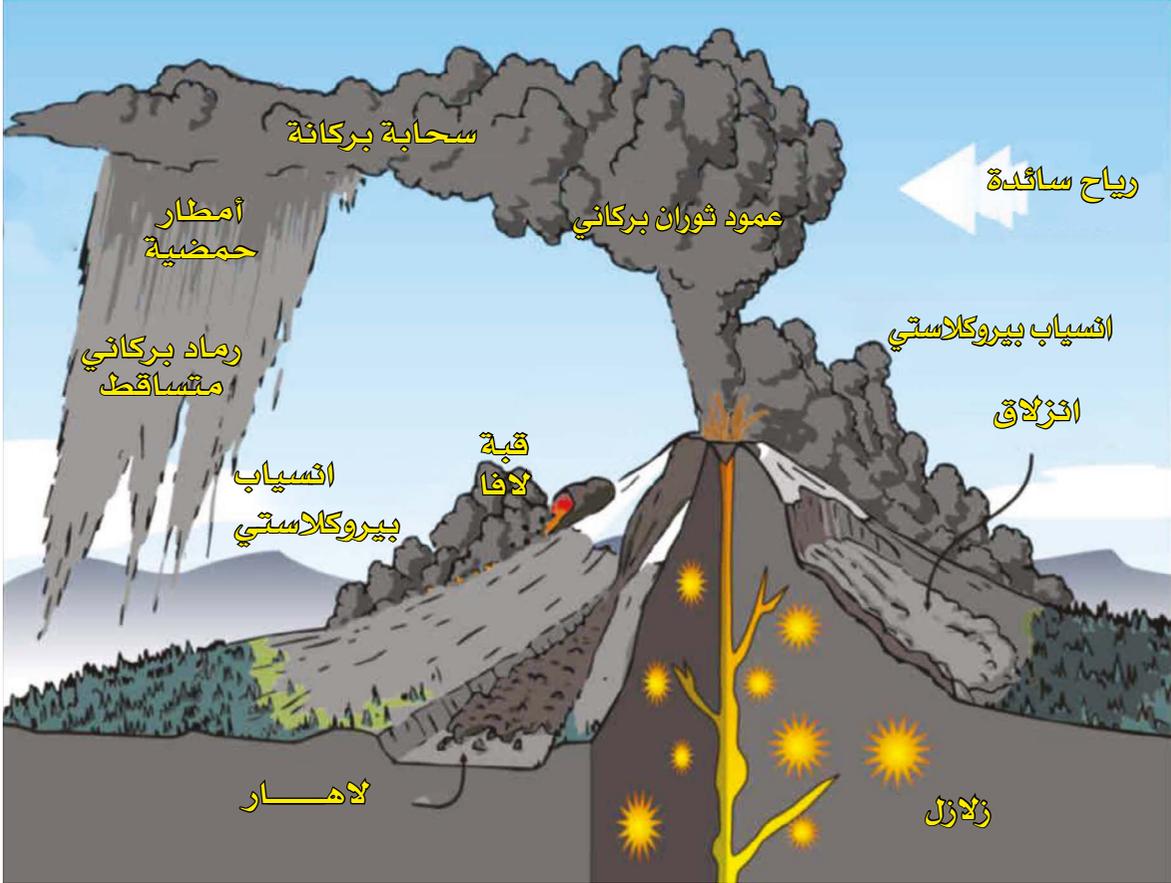
تكمّن المخاطر الأساسية للبراكين في **سريان الحمم** وسحب الدخان والرماد المتطاير والحطام الناتج ، **التي تعتبر** بكل المعاني أكبر تهديد يسببه البركان. فالناس والممتلكات في الأماكن **المجاورة للبراكين** مهددة بهذه المخاطر. وتقع أكثر الأماكن تأثراً **بالبراكين** في دائرة نصف قطرها من **80 إلى 150 كيلومتراً**. ويسبب الرماد الناتج عن **البركان** مشاكل تنفسية خطيرة وربما **اختناق**. بينما يسبب الرماد والحطام معاً **تلف المحاصيل الزراعية** ويقلل الإنتاجية لعدة سنوات. وإذا كان **ناتج البركان** كبيراً، فقد **تتهدم المباني** وتقتل أو تحاصر الناس والحيوانات. ويرجع مستوى **تدميره إلى قوته**.

وعلى الرغم من **الكوارث** التي تسببها **البراكين** إلا أن لها فوائد وهي تشكل الجبال والهضاب والسهول بالإضافة إلى **تخصيب** التربة لذلك نلاحظ أن معظم الناس **تتمركز** و **تبني قراها** و **مُدن**ها حول **البراكين** لخصوبة التربة بفعل بعض المعادن الموجودة في **الحمم البركانية**. علاوة على ذلك **تنشأ العيون الكبريتية** على **الفوهات** الخامدة وتستخدم لأغراض علاجية مثل أمراض **الروماتيزم** و**الكسور** وغيرها. ومن **الظواهر الطبيعية** المصاحبة للبراكين **الحديثة** **الينابيع الحارة** و**الفوارات** **ينجم عنها** **الزرنِيخ** و**الأنثيمون** و**النحاس** و**القصدير** بالإضافة إلى **الأملاح المعدنية** ذات **الجدوى الاقتصادية** في مجال **التعدين**.





وفي كثير من المناطق البركانية يستخدم البخار الجوي كمصدر للطاقة. كما تستخدم الطاقة الحرارية الجوفية لإنتاج الكهرباء في إيطاليا والمكسيك ونيوزيلندا والولايات المتحدة. وفي آيسلندا يُدْفَى معظم الناس منازلهم باستعمال المياه المسحوبة من الينابيع البركانية الحارة.



المخاطر الناجمة عن البركان وتمثل في المقذوفات الفتاتية والغازات الخانقة والانزلاقات والسحب البركانية والأمطار الحمضية



تفسير البراكين من المنظور التاريخي

اليونانيون والرومانيون

هناك خطأ غير واضح المعالم تماماً يفصل بين أساطير قدماء اليونان والرومان وأفكارهم العلمية المتعلقة بالبراكين، مع أن اليونانيين كانوا من بين الأوائل الذين صاغوا تفسيرات للمعالم الطبيعية المختلفة للأرض، بما في ذلك البراكين، إلا أنه يجب التذكير بأنهم لم يستخدموا التفكير الاستنتاجي، أي جمع الحقائق متبوعاً بتطوير شرح لتفسير تلك الحقائق، وهو التفكير الذي ظهر في أوروبا بشكل متأخر في عهد تشارلز داروين Ch. Darwin (توفي 1882م) (Bullard, 1962). لكن هذا النوع من التفكير الاستنتاجي كان يُمارس وبشكل كبير عند العلماء العرب والمسلمين، لذلك كانوا قادرين على بناء نظريات علمية، وهو ما وجدناه سابقاً في محاولاتهم لتفسير تشكّل المعادن في باطن الأرض اعتماداً على نظرية (الزئبق والكبريت) التي وضعها جابر بن حيان.

رأى الإغريق أن العمالقة Titans مخلوقات بشرية ضخمة، ولدت من الأرض لمهاجمة الآلهة. محصورين تحت مناطق بركانية مختلفة، بدا ظهورهم على الأرض أو في الهواء بمثابة مقدمة منطقية لثوران بركاني. كان تيفون Typhon أكثر الوحوش اليونانية إثارة للإعجاب. كان أول وحش غايا Gaia (الأرض الأم) وزيوس، أكبر وحش عاش على الإطلاق. عندما انتشرت ذراعيه، وصلت إلى مائة فرسخ، واندلعت النار من عينيه، وانفجرت الصخور المشتعلة من فمه. حتى آلهة أوليمبوس هربوا مرعوبين من بصره.





تمرد تيفون على الآلهة وعارض زيوس، الذي ألقى عليه بجبل إتنا، محاصراً المخلوق المخيف تحت الجبل. عندما سُجن تيفون تحت حكم إتنا، قفز مائة رأس تين من كتفيه، بعيون اندلعت ألسنة اللهب ولسان أسود وصوت رهيب. في كل مرة يحرك فيها تايون أو يتدحرج في سجنه، هدير إتنا، وتهتز الأرض، مع ثوران بركاني وغطاء من الدخان يغطي السماء (Sigurdsson, 2000).





وفقاً للأساطير اليونانية، يُدفن العملاق تايضون تحت بركان إتنا، وكلما تحرك العملاق، ينفجر البركان بعنف. (طبعة القرن الثامن عشر). (Sigurdsson, 2000)





لقد وضع كلُّ من أفلاطون Plato (توفي 347 ق. م) وأرسطو Aristotle (توفي 322 ق. م) وسترابو Strabo (توفي 21م) بعض التخمينات، وكان لبليني الأصغر Pliny the Younger (توفي نحو 113م) بعض الملاحظات، لكن لم يكن لدى أيٍّ من اليونانيين أو الرومانيين أيّ مفهوم عن الطبيعة الحقيقية للنشاط البركاني، فقد أشار أرسطو بشكلٍ غامضٍ إلى الرياح (المكبوتة) في القنوات الجوفية باعتبارها سبباً للزلازل، وكذلك فإنَّ نيران هذه الرياح تنشأ من طبقات الكبريت والفحم كسببٍ للبراكين. كما لاحظ سترابو -في إشارة إلى التقليد القائل بأن صقلية انفصلت عن إيطاليا بسبب اضطراب عنيف- أنَّ الأرض القريبة من البحر نادراً ما تهزها الزلازل في الوقت الحالي فقال: (توجد حالياً فتحات مفتوحة حيث تندلع النيران وتشتعل المادة وتخرج المياه)، لكن في السابق، عندما أُغلقت براكين إتنا وجزر ليباري وإيشيا وغيرها، كان من الممكن أن تنتج النيران والرياح المحبوسة حركات أكثر عنفاً، ومع التمسك بالفكرة الأرسطوية القديمة للرياح (المكبوتة)، يبدو أنَّ سترابو استنتج أنَّ البراكين تعمل كصمامات أمان، وهو مفهوم متطورٍ إلى حدِّ ما (Bullard, 1962).

تعود بدايات علم البراكين الحديث، أي السرد الموضوعي للظواهر البركانية المنفصلة عن الخرافات والأساطير، إلى وصف ثوران بركان فيزوف في عام 79 ميلادي بواسطة بليني الأصغر، ففي هذا الانفجار فقد عمه بليني الأكبر Pliny and Elder (توفي 79 للميلاد) حياته، وقد ورد وصف الثوران في رسالتين إلى المؤرخ الروماني تاسيتوس Tacitus (توفي نحو 120م) ، بناءً على طلب الأخير،





مع تقديم التفاصيل المتعلقة بوفاة عمه . تمتلئ رسائل بليني الأصغر بملاحظاتٍ دقيقةٍ ويمكن اعتبارها أقدم المساهمات في علم البراكين (Bullard, 1962).

كان بليني الأصغر، الذي كان عمره سبعة عشر أو ثمانية عشر عاماً عندما وقع الانفجار، يعيش مع عمه في ميسينوم Misenum. كتب رسالتين إلى تاسيتوس لا يصف فيها فقط كيف مات عمه، لكن، بشيءٍ من التفصيل، الانفجار نفسه والزلازل المصاحب له، تحوي هذه الرسائل على أقدم روايةٍ لشاهد عيانٍ معروفة عن حدثٍ بركاني، ففي الرسالة الأولى، وصف بليني عمود الثوران الأولي، مع سحابة الفطر في الأعلى، بأنه (مثل شجرة الصنوبر، حيث إنه ارتفع إلى ارتفاع كبير على ما يشبه الجذع ثم انقسم إلى فروع)، ويستخدم علماء البراكين حالياً الكلمة الإيطالية Pino لوصف أعمدة الثوران وتسمى الانفجارات شديدة الانفجار مثل تلك التي حدثت في فيزوف في 24 أغسطس بليان (De Boer, 2002).

وقد قال بليني الأصغر: (كان خالي معيناً في ميسينوم على القيادة النشطة للأسطول... خلال فترة العصر، لفتت انتباه أُمي غيمة ذات مظهر وحجم غير عادي، كان خالي خارجاً في الشمس، وقد أخذ حماماً بارداً، وقام بعد أن كان مضطجعاً، ومن ثم صار يعمل في كتبه، انتعل حذاءه وصعد إلى مكان حيث يمكنه من رؤية أفضل للظاهرة. لم يكن واضحاً من تلك المسافة التي كانت عليها الغيمة ترتفع عن الجبل (الذي عُرف بعدئذٍ بفيزوف)... رأى خالي من خلال فطنته العلمية على الفور أنه من المهم تفحصه، وأمر أن يجهز





له قارب... عندما كان يغادر المنزل تسلم رسالة من ريكتينا Rectina، زوجة تاسكوس Tascus، الذي كان منزله أسفل الجبل، حيث كان الهروب مستحيلاً بالقارب، كانت مرتعبة جراء الخطر الذي كان يهددها وناشدته أن ينقذها من مصيرها. غير خططه، وما بدأه بروح التحقيق أكمله كبطل. وجه أوامره للسفن الحربية لتتطلق وتابع على المتن بنفسه مع الانتباه على تقديم المساعدة للكثير والكثير من الناس بالإضافة إلى ريكتينا، هذا الامتداد الجميل للشاطئ كان مأهولاً بشكلٍ كثيفٍ، أسرع إلى المكان حيث كان يغادر الجميع بسرعة، يقود طريقه مباشرة نحو منطقة الخطر. كان جريئاً كثيراً، يصف كل حركة جديدة وطور الحذر الذي جرت ملاحظته بالضبط حين راقبهم. كان الرماد يتساقط من قبل أسخن وأسمك وحين انسحبت السفن، في وقت قريب، لحقها نتف من الحجارة السوداء والخفاف، وتصعد وتفحم بالنيران: ثم فجأة كانوا في المياه الضحلة والشاطئ كان محجوزاً بالحطام من الجبال). (Taub, 2003).

يرتفع جبل فيزوف 1279 متراً فوق خليج نابولي جنوب إيطاليا، وهو الجبل البركاني الوحيد النشط في البر الرئيسي الأوروبي، تحيط به المدن والبلدات التي يبلغ عدد سكانها الإجمالي أكثر من 3 ملايين نسمة، فهو معلمٌ رائعٌ وخطرٌ دائمٌ. عندما ثار فيزوف عام 79م، قتل الآلاف من الناس، ودمر الريف المحيط، ودمر ما لا يقل عن ثماني مدن، وأبرزها بومبي وهيركولانيوم - وترك إراثاً ثقافياً وتاريخياً تردد صده عبر الحضارة الغربية لما يقرب من 2000 عام (De Boer, 2002).





دمّر ثوران جبل فيزوف عام 79م مدينتي بومبي وهيركولانيوم بالكامل. تُعرض حالياً قوالب الجبس للضحايا الفعليين الذين عُثر عليهم أثناء عمليات التنقيب في بعض الأنقاض (مصدر الصورة والتعليق: <https://en.wikipedia.org/wiki/Titus>)

من المفترض أن فيزوف كان خاملاً لفترة طويلة في العصور التاريخية قبل ثوران 79م. لكن في 217 ق.م. كانت هناك زلازل عنيفة في إيطاليا، وثمة تقارير تتحدث عن ضباب أو ضباب جاف أدى إلى تعتيم الشمس، وقد ذكر كاتب السيرة اليوناني بلوتارخ Plutarch (توفي 125م) وجود (سماء مشتعلة) بالقرب





من نابولي، وكتب الشاعر الروماني سـيـليـوس إيتاليكوس Silius Italicus (توفي نحو 130م) ، في سرد لـ (المعجزات) التي ظهرت خلال عام 217 ق.م، (رعد فيزوف أيضاً، وأطلق ألسنة اللهب التي تسحق إتنا من منحدراتها؛ والقمة النارية، التي تقذف الحجارة على الغيوم، تصل إلى النجوم المرتعشة). ووفقاً للحسابات الحديثة فإن المستويات العالية من الحموضة الموجودة في قلب جليد غرينلاند يعود تاريخها إلى ذلك الوقت. إذ توفر الحموضة - التي يُفترض أنها جاءت من كبريتيد الهيدروجين الجوي المنبعث من بركان ثائر - دليلاً قوياً على أن فيزوف كان نشطاً بالفعل قبل نحو 300 عام قبل ثورانه الهائل عام 79م.

إذا كان هناك ثوران بركاني في عام 217 ق.م.، فمن الواضح أن سكان كامبانيا قد نسوه بحلول عام 79م. معتقدين أن فيزوف هو جبل طبيعي، الذي سيطر بشكل رائع على خليج نابولي الجميل، الذي كان يسمى آنذاك (نيابوليس) الذي كانت منحدراته مزروعة بكروم العنب، مع استثناءات قليلة، لم يعتبر أحدُ الجبل بركانياً، مثل ثوران إتنا في صقلية أو سترومبولي الناري في البحر التيراني، ولم يُعرف على المنخفض الضحل في قمة فيزوف على أنه فوهة بركان. في الواقع، في عام 72 م. لجأ المصارع سبارتاكوس Spartacus (توفي 71 م) وأتباعه المتمردين إلى هناك من مطاردتهم الرومان، وقبل عدة سنوات من ثورانه، كتب الجغرافي اليوناني سترابو عن فيزوف، واصفاً قمته بقوله: (كتل من الصخور... وكأنها قد أكلتها النار، ومن ثم يمكن للمرء أن يستنتج أنه في أوقات سابقة هذه المنطقة... بها حفرٌ من نار). جرى تجاهل ملاحظات سترابو إلى حدٍ كبيرٍ،





لكن في عام 79م، أي بعد نصف قرنٍ من وفاته، تأكّدت استنتاجاته عن البراكين إنما بشكل مأساوي (De Boer, 2002).

في عام 79م، بالطبع، لم يكن أحدٌ يعرف عن الصفائح التكتونية وحقيقة أنّ الزلازل يمكن أن تكون نذيراً للنشاط البركاني، كانت الزلازل شائعةً في جميع أنحاء كامبانيا، لكنها فسّرت من خلال الأساطير التي سردت معارك مذهلة بين الآلهة وجنس من العمالقة، انتصرت الآلهة في النهاية وسجنت العمالقة في العالم السفلي، حيث هزت صراعاتهم الأرض لتحرير أنفسهم. وأحد الكتاب، وهو المؤرخ الروماني لوسـيوس كاسيوس ديو كوكايانوس Lucius Cassius Dio (توفي نحو 235م)، ربط بطريقةٍ ما بين الزلازل والبراكين. ناقش ثوران بركان فيزوف بعد أكثر من قرن من الزمن، حيث كتب: (أعدادٌ ضخمةٌ من الرجال تجاوزت أي مكانة بشرية - مثل هذه المخلوقات، في الواقع، كما جرى تصوير العمالقة - ظهرت حالياً على الجبل، حالياً في الريف المحيط... وفجأة سُمع صوت اصطدام نذير، كما لو كان الجبل يتداعى في حالة خراب، وأول حجارة ضخمة ألقيت عالياً،... ثم جاءت كميةٌ كبيرةٌ من النار والدخان اللامتناهي، بحيث... تحول النهار إلى ليل... يعتقد البعض أنّ العمالقة كانوا ينتفضون مرة أخرى في ثورة، لأنه في هذا الوقت أيضاً يمكن تمييز العديد من أشكالهم في الدخان...) (De Boer, 2002).

وتكهن فيرجيل، الذي كتب قبل فترة طويلة من الانفجار، بأنّ أحد العمالقة المهزومين قد دُفن تحت فيزوف. ومع ذلك، لم يستتبط أحدٌ من الأساطير





العلاقة السببية بين البراكين والزلازل، وهكذا عندما هزّ زلزال قوي كامبانيا في شباط/ فبراير عام 62 ق.م، لم يعتقد أحد أنه قد ينذر بثوران بركاني. تسبب الزلزال في أضرار جسيمة، خاصة في بومبي وهيركولانيوم، حيث تشققت الأرضة، وانهارت الجدران والأسقف والأعمدة، وفي بومبي، غمرت المياه الشوارع عندما انحسر خزان المياه في المدينة، كان هناك العديد من الجرحى والوفيات. كتب الفيلسوف الروماني سينيكا أن قطعاً من 600 خروف نفق بالقرب من بومبي، وعزا نفوقهم إلى وباءٍ تسبب في اعتقاده بسموم من داخل الأرض. يشير وصف سينيكا إلى أن الزلزال فتح شقوقاً وصلت من خلالها الغازات البركانية إلى السطح (De Boer, 2002).





العلماء العرب والمسلمون

البراكين

يرى **الباحث بولارد** أنه (على مدار **17 قرن** التالية، أو خلال العصور المظلمة وحتى عصر **النهضة**، جرى إهمال الموضوعات العلمية تماماً) (Bullard, 1962). مهملاً أو متناسياً فترة العصور الذهبية للعلوم العربية التي امتدت بين القرنين 6 - 16م، التي أسهم فيها العلماء العرب والمسلمون في تطوير الكثير من العلوم التي جاءتهم من الأمم السابقة.

كما يرى **الباحث عبد الله يوسف الغنيم** أنّ العرب لم يخرجوا عن الإطار اليوناني في **تفسير النشاط البركاني**، لكنّ إضافاتهم الجديدة في مجال علم البراكين كانت **تأريخهم** لسنوات النشاط اللابي، ووضعهم للمصطلحات المناسبة لكل شكل من أشكال النشاط البركاني التي تكون على الأرض، وتمييزهم بين الأراضي البازلتية وغيرها (**الغنيم، 1988م**). لكننا عثرنا على مخطوطة **لمؤلف مجهول تعود إلى بعد القرن (9هـ / 15م)** يقترح فيها **مؤلفها** تفسيراً يخرج على نظرية **أرسطو**، معتبراً أنّ القيرر (أي القار، أو الزفت أو الأسفلت أو الحُمّر Asphalt) بامتزاجه مع الكبريت يتشكل وقود البراكين ويساعد الدخان الملتهب على عملية الاشتعال.

لقد أطلق العرب على البركان عدة تسميات: مثلاً سماها **علي بن الحسين ابن علي المسعودي** (توفي 346هـ / 957م) ب (آطام النيران)، وقد ميّز بينها وبين (عيون النار) التي يكون منشؤها النفط. فقد قال **المسعودي**: (حديث





عن آطام النيران. ويقابل هذا الساحل في البحر جزائر: منها جزيرة على نحو ثلاثة أيام من الساحل فيها أطمّة عظيمة تزفر في أوقات من فصول السنة فتظهر منها نار عظيمة تذهب في الهواء كأشمخ ما يكون من الجبال العالية فتضيء الأكثر من هذا البحر، ويُرى ذلك من نحو مائة فرسخ من البر، وهذه الأطمّة تشبه أطمّة جبل البركان من بلاد صقلية من أرض الإفرنجة ومن بلاد إفريقية من أرض المغرب، وليس في آطام الأرض أشدّ صوتاً ولا أسود دخاناً ولا أكثر تلهباً من الأطمّة التي في أعمال المهراج، وبعدها أطمّة وادي برهوت، وهي نحو بلاد سبأ وحضرموت من بلاد الشحر، وذلك بين بلاد اليمن وبلاد عُمان، وصوتها يسمع كالرعد من أميال كثيرة تقذف من قعرها بجمر كالجبال وقطع من الصخور سود حتى يرتفع ذلك في الهواء ويدرك حسّاً من أميال كثيرة، ثمّ ينعكس سفلاً فيهبوي إلى قعرها وحولها، والجمر الذي يظهر منها حجارة قد أحمرت مما قد أحالها من مواد حرارة النار، وقد أتينا على علة تكون عيون النيران في الأرض، وما سبب موادها، في كتابنا أخبار الزمان) (المسعودي، مروج الذهب، 2005م). لكننا رجعنا إلى كتاب المسعودي (أخبار الزمان)، المذكور مؤخراً، بنسخته المنشورة لمعرفة ما فصله المسعودي من أمر البراكين كما ذكر في النص السابق ولم نعثر عليه، فربما كان ناقصاً من العمل المنشور.

كما تحدّث **المسعودي** عن وجود البراكين البحرية في البحر الأسود حيث قال: (وربما ألقى عند اضطرابه ناراً لها ضوء شديد) (المسعودي، أخبار الزمان، 1966م).



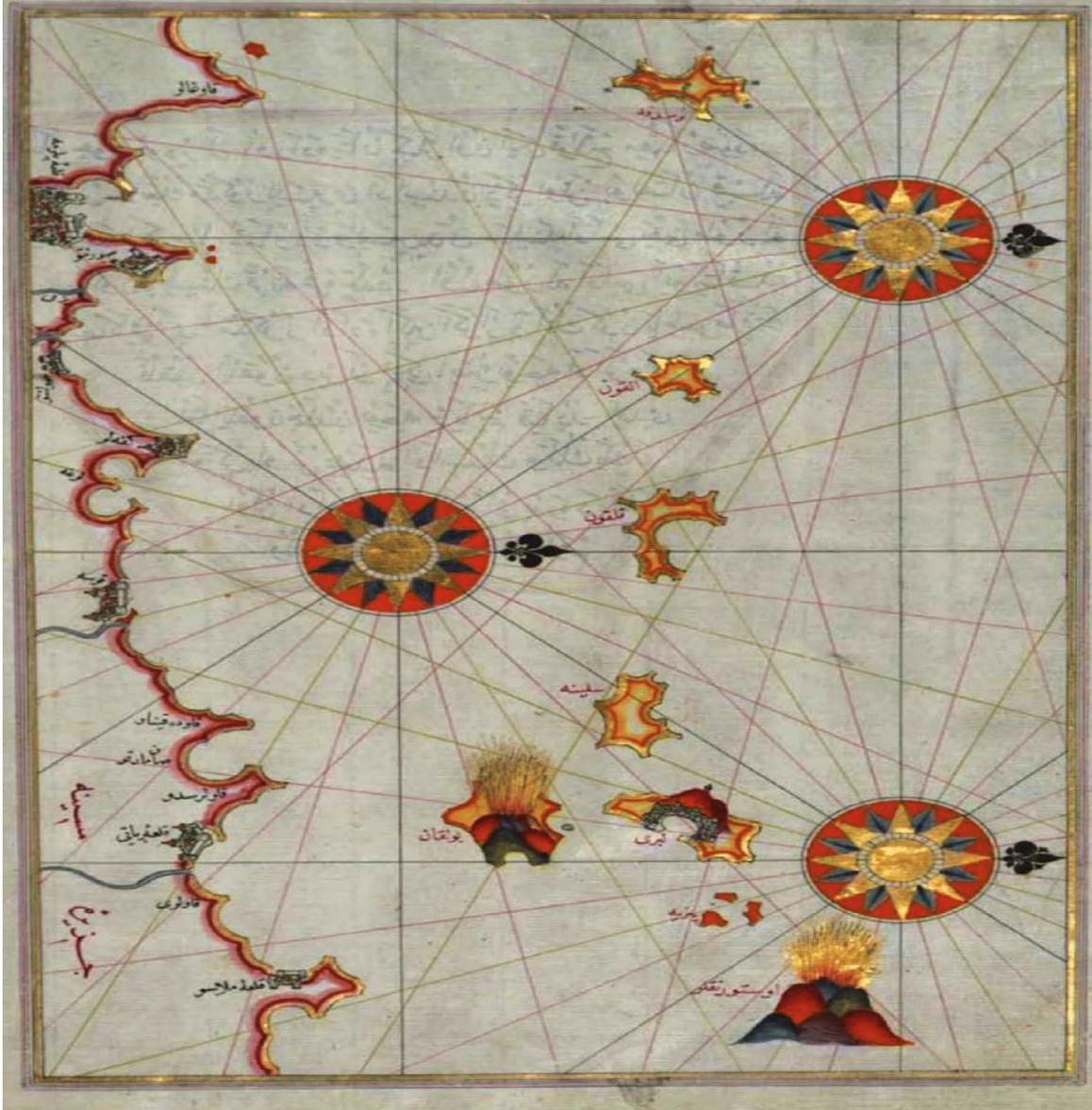


وأشار - نقلاً عن البحارة- أنه في آخر بحر الصنف القريب من سرنديب (سريلانكا) (جبال تتوقد ليلاً ونهاراً يسمع لها قواصف مثل الرعود من شدة التهايه) (المسعودي، أخبار الزمان، 1966م).

ووصفه للبركان بمصطلح (جبال النار Mountains of fire) - هذا المصطلح لا يزال يستخدم في المنشورات الجيولوجية المعاصرة- قد تأثر به الجغرافيه ابن حوقل (توفي بعد 367هـ / بعد 977م)، إذ نراه يصف به البركان الموجود في جزيرة صقلية (ابن حوقل، 1938م)، والمرجح أنه بركان إتنا المعروف حالياً الذي يقع على الساحل الشرقي للجزيرة.

وقد ذكر المؤرخ محبوب المنبجي (القرن 4هـ / 10م) أن بركان إتنا (أو هطما كما كان يسميه) قد ثار في السنة الخامسة من تولي الملك داريوس أو دارا الأول (توفي 522 ق.م) للحكم في مصر، أي سنة 516 ق.م (المنبجي، 1909م). وهذا أقدم تاريخ عربي يوثق لثورة هذا البركان.





خريطة قام برسمها البحار التركي أحمد محيي الدين بيبري (توفي ما بين 1554م و1555م) والشهير باسم (بيبري رئيس) ووضعها في كتابه (الملاحه) الذي قام بتأليفه عام 1525م وأهداه للسلطان سليمان الأول (توفي 1566م)، وهي توضح هنا وجود جزيرتين بركانيتين على مقربة من مقاطعة مسينيا في جزيرة صقلية (رئيس، الملاحه، مخطوطة رقم Walters Ms. W.658).





كما حدثنا مؤلف مجهول (بعد القرن 9هـ / 15م) عن مشهد ثوران لبركان صقلية فقال: (القول على النيران التي تتكون في الأرض، و(قد) تحقق عند جميع الناس أنّ النار لا يمكنها المكث والإقامة بغير قوت، لا سيّما متى فارقت مركزها العلوي. واعلم أنّه قد يوجد في بعض الأراضي شيءٌ من النار، كما قد يوجد في بعض جزيرة سيسيليا (صقلية) وهي بالقرب من جزيرة مالطة من الجبل المسمى أطمّة، أنّ ناراً تخرج منه وتقف من جوف الجبل رماداً، ويُسمع صوت هائل يجزع من شدة الفزع كل من سمعه متى خرج الرماد من تلك المغارة ولهيب النار معاً، وقد جرى بعض الأحيان أنّ النار والرماد لما خرجا سارت تلك النار وبلغت في السير نحو ستين ميلاً وأحرقت كل ما مرّت عليه من الأشجار والزرع والدواب والناس والبيوت والمدن والقري. وفي القرب من عهدنا نحو ثلاث سنوات خرجت النار مع الرماد وسقطت على قرية بالقرب من ذلك الجبل نحو ستة أميال وهدمت أكثر من نصفها وحرقت ما فيها من كل ذي روح وجمادٍ، وقد صحّ أنّ في بعض الأراضي أنّ هذه النيران كثيرة شديدة ويمكن وقود البعض منها مدة والبعض شهرين، والبعض سنة وليس المراد كونها أزيد أو أنقص فإنما ذلك بقدر ما تجد من القوت الكافي لمكثها إلى أن ينقل، وربما يدوم اللهب إلى عامين أو يزول في شهرين.

وإذا سألنا أحد ما المادة الممددة لهذه النيران، وما الذي يديم وقودها وبقاياها؟

فالجواب أنّ مادتها وقوتها هو الكبريت والقيز، وهذا الكبريت رمادي اللون ثقيل الرائحة حتى إنّها تقتل الحفّارين متى لم تجد للخروج منفذاً، والكبريت: فإنّه حارّ يابسٌ ولذلك كان سهلَ الالتهاب، ويستعمله أهل البارود وصنّاعه. و(أما) القيير: فهو دبقٌ دسمٌ كالشحم وفيه من أجزاء الهواء شيءٌ ولما فيه





من **الدسومة** يطول **التهابه** وتمكث **النار** فيه مدةً مديدةً، واستدلوا على تكوّن النار في الأرض **ومكثها** في وجودها من **القيِر** والكبريت، لأنّ **(المادّة)** المتصفة بهذين المعدنين فإنها كثيرة **النيران**. واعلم أنّ **الأراضي** التي زاد فيها **القيِر** على الكبريت يزداد طول **مكث النار** فيها بسبب **القيِر** والدبقية التي فيه تحفظ النار حتى يفتنى كما **شوهد** في **الشحم** والزيت حتى في وسط **البحر**، الذين يستعملون **النيران** **الصنعوية** التي لا تطفئ بالماء فإنها مصنوعة من **القيِر** والنار الملتهبة بقدر ما **تفيض** عليها من الماء لتطفئ زاد **التهابها**، ومن أراد طفيها فليستن على ذلك بجلود **البهائم** أو **الجوخ** وغيره. والكبريت فإنه يطفئ **سريعاً**، والنار تفتنيه **عاجلاً** لخلو أجزاءه من **الدسومة** وهو لا يقاوم الماء متى **صُب** عليه في احتراقه.

وإن سألنا أحد كيف يحصل الالتهاب للقيِر والكبريت في جوف الأرض؟

فالجواب: أنهما يلتهبان بالدخان **المحتبس** في جوف **المغاير**، والتهاب هذا الدخان إما من **البرد المحيط** الذي يحيط **يزيد حرارة الدخان**، وإما بتحرّك أجزاء **الدخان** إلى بعضها بعض، لأنّ **الحركة** لا تزيد **الحرارة** فقط، بل **النار** تخرج منها أحياناً، كما قد ذكر في **تكوين البروق والصواعق**، وكما هو **معهودٌ** في ضرب **الحجر بالفولاذ**.

والبعض من هذه **النيران** يُرى على وجه الأرض، والبعض لا يُرى؛ **فالمرئية** تقذف النار والرماد والرمل والصخور **أحياناً** مع قطع من الحديد، وهذا **ضرر** **عظيم للمدن** والقُرى والكروم والبساتين القريبة من **تلّكم** الأماكن الحاوية لهذه **النيران** والبعض يعلو **لهيبها** ويظهر **ليلاً** ونهاراً، والبعض **فقط** ليلاً لضعف مادتها لا تُرى بالنهار من **شعاع الشمس**، وذكر البعض أنّ اتصال تلك **النيران**





فهو من نار جهنم المكنونة في جوف الأرض، ويسمع من تلك النيران بعض الأحيان أصواتاً كصوت المعذبين من الضجيج والأنين).

إذا فقد قدم لنا هذا المؤلف المجهول نظريته التي حاول من خلالها تفسير ظاهرة البركنة ومنشأ حرارتها بعيداً عن الأفكار الأرسطية، وسابقاً بهذه المحاولة الأوربيين على الأقل بمائتي إلى ثلاثمائة سنة.

كما حدثنا سبط ابن الجوزي (توفي 654هـ / 1256م) عن بركان المهراج في الهند أكثر فقال: إنه (أطمةٌ بساحل الهند بين مملكة شروان والمهراج، يخرج منها نفطٌ أبيضٌ وليس في العالم نفطٌ أبيضٌ لمواه (تجمعه)، وعندها نار لا تخمد ليلاً ولا نهاراً، وليس في أطام الأرض أعظم منها، وتضيء في الليل منها نارٌ ترى في البحر الشرقي من مائة فرسخ، وتقذف بجمر كالجبال وقطع من الصخور في الهواء، ثم تنعكس سفلاً فتتهي في قعرها وهي سودٌ وحمراً لما نالها من الحرارة، وقال الجوهرى: والأطم مثل الأجم - جمع أجمة) (سبط بن الجوزي، 2013م). وقد نقل عنه هذه الرواية أبو بكر بن عبد الله بن أيك، ابن الدَّوَاداري (توفي بعد 736هـ / بعد 1432م) (ابن الدَّوَاداري، 1960-1994م).

وذكر ابن الدَّوَاداري أنه من عجائب القيروان في بلاد المغرب وجود حجارة (تتقد فيها النيران ترى في الليل من مسافة بعيدة وفي النهار دخاناً صاعداً وذلك لغلبة شعاع الشمس، وهي في جبل يقال له جبل البركان) (ابن الدَّوَاداري، 1960-1994م). وهذا الجبل غير جبل البركان الذي يقع في جزيرة صقلية.

ويبدو أن العرب في الجاهلية كانوا يؤرخون لظهور البراكين، بمعنى يتخذون ظهورها مبدءاً للتقويم. إذ ذكر ابن الدَّوَاداري (أن بنو إسماعيل عليه السلام،





أرخوا بنار ضرار، وهي نار كانت تظهر ببعض خراب اليمن وعبدت زماناً) (ابن الدّواداري، 1960-1994م).

وتكلم أبو الفرج بن الجوزي (توفي 597هـ / 1201م) عن (جبال فرنجة من جبال الأندلس، وهناك جبل فيه نار تتقد في تراب وحجارة، ما طفئت قط) (عبد الرحمن بن الجوزي، 1992م). ولم نستطع تحديد هوية هذا البركان لأنه يوجد في الأندلس (إسبانيا حالياً) 15 بركاناً نشطاً وخامداً.

أخيراً؛ يحدثنا مؤلف مجهول في الكتاب المنسوب إلى أرسطو عن البراكين التي شاهدها أشخاص في بلاد الهند فقال: (ولو سُئِلَ الكثيرُ السفرِ في البحر المالح من بحر الهند أو المغرب لذكر مثل ذلك في صحته وما عاينه، ولقد بلغني أنّ المراكب ربما رأت هذه المنافس وضوء النار فتتهدي به وتحيد عنه خوفاً منه لأنّه في جبال، وقد انهارت تلك الجبال (أي البراكين) وحصل منها شبه الرماد وهي في وسط الماء فلا يمر بها شيء إلا أحرقتة واجتذبتة وبينه وبينها البُعد الكثير، وأنّه يكون هذا المنفس في جبلٍ عظيمٍ وحوله عمقٌ عظيمٌ كبيرٌ لا يُعرف. ولقد بلغني أنّ في بلدٍ من بلدان الهند في مَشْرِقِ بلهرا على مسافة شهرين يقبس أهله (من) هواه نارٌ في أكثرَ زمانهم من بحارٍ منفسٍ في جبلٍ في وسط بحرهم، وذلك لا تجري فيه جاريةٌ إلا هلكت وأنهم يرونه بعيداً منهم فيزيد تنفسه في وقت من أوقات الزمان فيرمي بشررٍ كأنه قطعُ صخرٍ وأنهم يرون أكثرَ ذلك في ليلهم فيسقط في ذلك البحر وأنه يسمع لذلك البحر من تساقط ذلك الشرر الذي يُحكي الصخر وقعَ أشدَّ من الرعد والصواعق، فيسمع ذلك من انطفائه في الماء فيكون لها جلبةٌ هائلةٌ تسمع على بعدٍ عظيمٍ منهم، وأنه ربما زاد في بعض الأزمان فيقع لهم في زروع فتهلكه عليهم وأنهم يجعلون في





سحارهم الشعالة فيوافق شيء من ذلك الشرر فتحرقه وهو عندهم بمنزلة الفرح والعيد والقريات ويتبركون به وبفعله، وإن شط ذلك البحر يُشَمُّ سنة روائح حريق ويرى أثر رماد على وجه الماء كأنه ما يطفى به من ذلك الصخر، وأنهم لم يروا قط فيه حوت ولا يطير طير في ذلك البحر ولا على شطه وبينهم وبينه مسافة بعيدة في رأي العين كبعد ما ترون من علو السماء ورفعتها ولا يولد فيه من الدواب ذوات الأرواح ولا شيء من النبات مالح أجاج فاتر دهره وشهره. وقد بلغني أيضاً أن منافس في مغرب الشمس في بحر الروم، وكذا ذكره أرسطو طاليس أنها **اثنا عشر منفس**، وقال غيره هي سبعة منافس. وقيل إن بحر المغرب أيضاً مثل ذلك، وأهل البحر يعرفون ذلك فيحدث من هذا الفلك في السفلى والعلو ما هو أعظم مما ذكرنا وأشياء لا يحتاج إلى ذكرها في هذا الموضوع ونحن ننحاه). (مؤلف مجهول، كتاب النيازك لأرسطاطاليس شرح حنين بن إسحاق العبادي، مخطوطة مكتبة جامعة برنستون، رقم (373Y)، ص 239 و - 239ظ).





الحرّات

تعرّف الحرّات: بأنّها طفوح بازلتية تشكلت من حمم الصخور البركانية المنصهرة، التي تدفقت من باطن الأرض بسبب النشاط الزلزالي والحركي منذ أقدم العصور (الرشيد، 2013م).

وقد استخدم العرب مصطلح **الحرّة** ليطلقوه على **الأراضي الواسعة الواقعة** غرب **الجزيرة العربية** والمكوّنة من الصخور البازلتية السوداء الناجمة عن تصلّب المصهور المتدفق من باطن الأرض، سواء من خلال فوهات البراكين أو من خلال مناطق الضعف القشري، وبعد أن يتصلّب المصهور يتشقق بسبب العوامل الجوية فتظهر **الحرّة** بشكل صخور متناثرة هنا وهناك على سطح الأرض. كما أنّهم استخدموا مصطلحين هما (**الوَحْفَاء**) و (**الحُمَّة**) ، اللتان يقابلهما المصطلح الحديث (**الرصيف الصحراوي Desert Pavement**) أو (**الدرع الصحراوي Desert Armour**). كما ذكر العرب مصطلح (**الثّبّرة**) وهو يشير إلى الأرض التي تشبه حجارتها حجارة **الحرّة** لكنها بيضاء، وهي تتشكل نتيجة تغيرات كيميائية تصيب الطبقة السطحية من صخور **الحرّة** (**الغنيم**، 1988م).





جبل البيضاء عبارة عن جبل بركاني خامد يقع في منطقة المدينة المنورة غرب السعودية، ويقع تحديداً في حرة خيبر. يبلغ ارتفاع الجبل نحو 1930 متر (Harrigan, 2006)





أولاً: أنواع الحرات

لقد عرف العرب أشكالاً عديدةً للحرات وصنّفوها تحت ثلاثة أنواع هي: العناق والصخرة والصخرة، التي سنتكلم عنها بالتفصيل كما يأتي:

1. العناق

هي ما يمكن أن يطلق عليه اليوم اسم القصبات البركانية Volcanic Diatreme (الغنيم، 1988م). وهي عبارة عن أنابيب بريشيا على شكل قمع يصل عمقها إلى 2500 متر. يُعتقد أنّ القصبات البركانية تتشكل عن طريق التفتت البركاني المائي وانهيار صخور الجدار، وقد تكمن القصبات في العمق في الخنادق (Sigurdsson, 2000).

2. الصخرة

تعرف الصخرة على أنها جوية، أي حفرة أو جفرة متسعة، تظهر وسط الحرّة. ويشبه الصخرة (الفقء) وجمعها (فقآن)؛ ولعل أقرب مصطلح علمي لهذا المصطلح العربي هي الفوهات الخامدة المنتشرة وسط الحرار، التي يتغير اتساعها وعمقها من فوهة أو حفرة صغيرة Crater لا يزيد قطرها على عدة أمتار إلى فوهات كبيرة العمق والاتساع تسمى Caldera ويصل قطرها إلى 2 كيلومتر (الغنيم، 1988م).





3. الصُّخْرَة

وهي التي تسمى وفق المصطلح العلمي الحديث باسم (القباب اللايية) Lava Domes، وهي تلال من الصخور البركانية التي تتشكل عندما تتدفق الحمم البركانية على السطح وتتراكم فوق الفتحة، وتتشكل القباب اللايية عندما تبرد الصهارة اللزجة بسرعة نسبياً بعد ظهورها على سطح الأرض، مع أنّ تركيبات القبة قد تغطي الطيف الكامل لمحتويات السيليكات، إلا أنّ الغالبية تحوي على كميات مرتفعة نسبياً من السيليكات. تختلف أقطار القبة من بضعة أمتار إلى عدة كيلومترات، ويتراوح ارتفاعها بين بضعة أمتار وأكثر من كيلومتر واحد. (Sigurdsson, 2000).

وقد قسّم العرب هذه التلال إلى أربعة أنواع مختلفة عن بعضها، وأطلقوا عليها أسماء مختلفة وهي بالترتيب: النعل والخف والكراع والضلع. فالنعل شبيه بالنعل يكون فيه صلابة وارتفاع، والخف أطول من النعل، والكراع أطول من الخف، والضلع أطول من الكراع وهي ملتوية مثل الضلع (الغنيم، 1988م).

ثانياً: انتشار الحرات

تنتشر الطفوح البركانية في شبه الجزيرة العربية من جبال اليمن جنوباً، ثم تمر عبر نطاق الدرع العربي إلى أن تصل إلى هضبة حوران وجبل الدروز في جنوب سوريا، وهذا يعني أنها تنتشر على طول الجناح الغربي لشبه الجزيرة العربية. ويتراوح زمن نشأة تلك الطفوح البركانية على طول الدرع العربي بين الزمن الأركي





والعصور التاريخية، وقد حدث أشد وأعنف تلك الانبثاقات اللابية في الزمن الثالث، تحديداً بين زمني الميوسين والأوليغوسين، حيث تشكل عندها البحر الأحمر وانفصلت الكتلة العربية الإفريقية عن بعضها (الغنيم، 1988م).

وتوجد أهم الحرات في المملكة العربية السعودية في القسم الغربي منها، وذلك على الامتداد الطولي من الجنوب إلى الشمال على مرتفعات جبال الحجاز، ثم تمتد شمالاً عبر منطقة الجوف ومنطقة الحدود الشمالية حتى تتقاطع مع حدود الأردن، كما أنها توجد في السهل الساحلي الغربي (الرشيد، 2013م).

السجل الزمني للنشاطات البركانية في المناطق العربية

دوّن لنا المؤرخون العرب في كتب الحوليات ما حدث في أيامهم من أحداث ووقائع، ومن بين هذه الأحداث النشاطات البركانية، وسنسرّد فيما يأتي كل ما وصلنا من أرصاد عن هذه النشاطات:

سنة (79م)

سُجّل انفجار بركان فيزوف في كتب الحوليات العربية، ويعود أقدم توثيق لثوران هذا البركان ما ذكره ابن العبري (توفي 685هـ / 1286م) أنه في السنة الثانية لملك القيصر طيطوس أو (تيتوس فيسباسيانوس Titus Flavius Vespasianus) (توفي 89م) – الإمبراطور الروماني العاشر الذي حكم روما لسنتين بين (79-81م) – انشق جبل بالروم وخرج منه شهب نار أحرقت مُدناً كثيرة (ابن العبري، 1992م). وطيطوس هذا هو ابن فيسباسيانوس الذي حكم روما لمدة عشر سنوات بعد نيرون (توفي 68م) Nero، إذاً المقصود بانشقاق جبل الروم هو انفجار بركان فيزوف عام 79 للميلاد.





سنة (19هـ / 640م)

ذكر ابن كثير (توفي 774هـ / 1373م) أنه في هذه السنة (ظهرت نارٌ من حرّة ليلى، فأراد عمر أن يخرج بالرجال إليها، ثم أمر المسلمين بالصدقة فطفئت، والله الحمد) (ابن كثير، 1997م). وقد قدّم لنا المؤرخ أسلم بن سهل بَحْشَل (توفي 292هـ / 905م) تفاصيل أكثر عن هذا النشاط البركاني فقال: (حدثنا أسلم، قال: حدثنا عبد الرحيم، قال: حدثنا بشر بن مبشر، قال: حدثنا حماد بن سلمة عن الحريري عن أبي العلاء عن معاوية بن حرملة، قال: [أتيت عمر بن الخطاب رضي الله عنه. فقال: من أنت؟ قلت: أنا معاوية بن حرملة: قال:] اذهب فانزل على خير أهل المدينة، وكان بالمدينة رجل إذا صلى المغرب ضرب بيديه إلى من عن يمينه ومن عن شماله، فذهب بهما إلى منزله، فصليت إلى جنبه، فإذا هو تميم أبو رقية الداري، فلما انصرف من الصلاة ضرب بيده إلى وإلى آخر مما يليه من الجانب الآخر. فانطلق بنا إلى منزله فوضعت المائدة وجيء بالطعام، فأكل وأكلت ولم يكن لي عهد بالطعام قبل ذلك بثلاث. فأكلت أكلاً شديداً. فبينما نحن نتحدث إذ خرجت نار بالحرّة، فجاء عمر بن الخطاب رضي الله عنه، فقال: يا تميم! اخرج فأنت لها، قال: وما أنا يا أمير المؤمنين وما عسى أن يبلغ من أمري وصغر نفسي؟ فقال عمر: عزمتم لتقومن، فقام وتبعتهما. فجعل تميم يجوس النار حتى دخلت الغار الذي خرجت منه، واقتحم تميم في أثرها ثم خرج ولم تضره النار شيئاً. فقال عمر رضي الله عنه: ما من رأى مثل من لم ير. وما من شهد مثل من لم يشهد) (بَحْشَل، 1986م).





سنة (652هـ / 1254م)

قال ابن دُقَمَاق (توفي 809هـ / 1407م): (وفيها ظهرت نار بأرض عدن في بعض جبالها، بحيث يطير بها شرار إلى البحر في الليل، ويصعد منها دخانٌ بالنهار، فما شكوا أنها النار التي ذكرها النبي ﷺ، أنها تظهر في آخر الزمان، فتاب الناس وأقلعوا [عما كانوا عليه من المظالم والفساد] وردت بذلك الأخبار من مكة) (ابن دُقَمَاق، 1999م).

وفيما اتفق كلُّ من ابن دُقَمَاق وابن العماد الحنبلي (توفي 1089هـ / 1679م) على أنّ هذا النشاط البركاني قد حدث سنة (652هـ / 1254م)؛ فإن ابن الدَّوَاداري (توفي بعد 736هـ / بعد 1432م) (ابن الدَّوَاداري، 1960-1994م) وقال إنّه حدث سنة (651هـ / 1253م).

سنة (654هـ / 1256م)

لقد أرّخ لهذا الحدث البركاني المهيب مجد الدين الفيروزآبادي (توفي 817هـ / 1415م) الذي نال شهرته التاريخية الواسعة من ارتباطه بأمرين:

- الأول وقوعه على مقربة من المدينة المنورة.

- الثاني وجود حديث نبوي شريف قاله رسول الله ﷺ.

قال الفيروزآبادي: (ومن الحوادث العظيمة التي [حدثت، أنه في يوم] الأربعاء ثالث شهر جمادى الآخرة من سنة أربع وخمسين وستمائة حدث بالمدينة الشريفة في الثلث الأخير من الليل زلزلة عظيمة، ورجفة قوية، أشفق





الناس منها، ووجلّت القلوب من صدمتها، وانزعجت الخلائق لهيبتها، وبقيت إلى الليل، واستمرت إلى يوم الجمعة، ولها دويٌّ مثل دويِّ الرعد القاصف، ثم ظهرت نار عظيمة مثل المدينة العظيمة من واد، يقال له: وادي الأحيليين، بضم الهمزة، وفتح الحاء المهملة، وسكون الياء، وكسر اللام، وفتح الياء، وسكون ياء الثالثة وآخره نون، في الحرة الشرقية.

وسارت هذه النار من مظهرها إلى جهة الشمال، فخاف أهل المدينة، واستولى عليهم الوجل، وأيقنوا أنّ العذاب قد أحاط بهم، فرجع أميرهم إلى الله تعالى بالتوبة والإنابة، وأعتق جميع مماليكه، وشرع في ردّ المظالم إلى أربابها، وهبط من القلعة مع القاضي وأعيان البلد، والتجأوا إلى الحجرة المقدسة، وباتوا بالمسجد الشريف جميعهم رجالهم ونساؤهم وأولادهم، بحيث لم يبق أحدٌ لا في النخيل ولا في داخل المدينة إلا قد **حضر عند النبي ﷺ**. وأبصر هذه النار أهل مكة، وأهل الفلوات في بواديهم، ثم سال منها نهير من نار، وأخذ في وادي أحيليين المتقدم ذكره، وأهل المدينة يبصرونها من دورهم كأنها عندهم، وبين أيديهم، وأهل ينبع يبصرونها من بلدهم، وهي ترمي بأمثال الجبال حجارةً من نار، تذكرهم قول الله تعالى: ﴿إِنَّهَا تَرْمِي بِشَرَرٍ كَالْقَصْرِ ۚ ۳۲﴾ **كأنه جملت صفر ۳۲** [الرسالات: 32، 33]، وبقيت مدة ثلاثة أشهر تدب في الوادي دبيب النمل، تأكل كل ما مرت عليه من جبل أو حجر، ولا تأكل الحشيش ولا الشجر، والشمس والقمر في المدة التي ظهرت فيها هذه النار ما يطلعان إلا كاسفين.





واستمرت هذه النار تآكل الأحجار والجبال، وتسيل سيلاً ذريعاً في وادٍ يكون طول مقداره أربعة فراسخ، وعرضه أربعة أميال، وعمقه قامة ونصف، وهي تجري على وجه الأرض، والصخر يذوب حتى يبقى مثل الآنك، فإذا جمد صار أسوداً، وقبل الجمود لونه أحمر.

ولم يزل يجتمع من هذه الحجارة المذابة في آخر الوادي عند منتهى الحرة حتى قطعت في وسط وادي الشظاة إلى جهة جبل وعيرة، فسدت الوادي المذكور بسدٍ عظيمٍ من الحجر المسبوك بالنار، ولا كسد ذي القرنين، يعجز عن وصفه بيان الواصف، ويرجع القلم وله من شرحه في كل قدم قاصف، فانقطع وادي الشظاة بسببه، وصار السيل إذا سال ينحبس خلف السد المذكور، وهو وادٍ عظيمٌ، فيكثر، وتعظم المياه المجتمعة حتى تصير بحراً مد البصر طولاً وعرضاً، كأنه أرض مصر عند زيادة النيل، فانخرق هذا السد من تحته في سنة تسعين وستمئة لتكاثر الماء من خلفه، فجرى في الوادي المذكور سنتين كاملتين (الفيروزآبادي، 2009م).





بقايا الثورة البركانية التي حدثت عام 1256م بالقرب من المدينة المنورة. وهي كما نلاحظ تمتد على مساحة شاسعة من الأراضي (Harrigan, 2006).





كما تناول هذا الحدث **نور الدين السمهودي** (توفي 911هـ / 1506م) وأورد كل الأحاديث النبوية التي تكلمت عن هذه النار مع ذكره **المستفيض** لما رافقها من زلازل (**السمهودي**، 1998م)، وقد أوجز **ابن العماد الحنبلي** الحدث (**الحنبلي**، 1986م).

وذكر **المؤرخ حسين بن محمد بن الحسن الديار بكري** (توفي 966هـ / 1559م) أنّ **بركان المدينة عاد للنشاط** مرةً أخرى عام (655هـ / 1257م)، لكنه يبدو أنه قد أخطأ في التاريخ لأنه قال في نهاية حديثه (وقد سبق ذكرها) (**الديار بكري**، (د.ت.))، ويقصد بهذا **بركان عام (654هـ / 1256م)**.

وقد ورد في تاريخ **ظهير الدين الكازروني** (توفي 697هـ / 1298م) عاد وظهر مرةً **ثالثةً سنة (692هـ / 1293م)**، أي بعد 37 سنة من **الثوران الأول**، فقال: (ظهرت نارٌ بأرض المدينة النبوية في هذه السنة، نظير ما كان في سنة أربع وخمسين على صفتها، إلا أن هذه النار كان يعلو لهيبها كثيراً، وكانت تحرق الصخر، ولا تحرق السعف، واستمرت ثلاثة أيام) (**ابن كثير**، 1997م)، وقد أكد ذلك أيضاً **المؤرخ بدر الدين العيني** (توفي 855هـ / 1451م) (**العيني**، 1987م).





بركان المدينة المنورة التاريخي

يوجد في حرة رهط أكثر من 700 فوهة بركانية، ويعد الجزء الشمالي منها أكثر أجزاء تلك الحرة نشاطاً الذي يقع إلى الجنوب من المدينة المنورة مباشرة؛ حيث شهدت أكثر من ثلاث عشرة ثورة بركانية خلال الخمسة آلاف سنة الماضية (بما يوازي ثورة بركانية كل أربعمئة عام) منها ثورة سنة 21 هجرية (644 ميلادية)، وثورة سنة 654هـ (1256 ميلادية) البركانياتان واللذان سبقتا بعدد من الهزات الأرضية العنيفة وأصوات الانفجارات الشديدة، التي شكلت الثورة البركانية الأخيرة (654هـ / 1256م) ستة مخاريط بركانية جديدة، ودفعت بطفوحها لمسافة زادت على ثلاثة وعشرين كيلومترا من الشمال إلى الجنوب، وامتدت حتى الطرف الجنوبي لموقع مطار المدينة المنورة الحالي، ثم تحولت إلى الشمال. ويعد جبل الملسا الذي يبلغ ارتفاعه 916 مترا عن سطح البحر بركانا خامدا يتمتع بفوهة كبيرة على قمته، أحد أجمل المناظر والفوهات البركانية، وقد كونت الحمم التي تدفقت من هذا البركان منذ آخر نشاط له في عام 1265م.

وقال ابن كثير رحمته الله: وقد ذكر الشيخ شهاب الدين أبو شامة - (في سنة أربع وخمسين وستمئة في يوم الجمعة خامس جمادى الآخرة 645 هـ) ظهرت نار بأرض المدينة النبوية في بعض تلك الأودية طول أربعة فراسخ، وعرض أربعة أميال، تسيل الصخر حتى يبقى مثل الأنك، ثم يصير كالفحم الأسود، وأن ضوءها كان الناس يسرون عليه بالليل إلى تيماء، وأنها استمرت شهراً، ولم يحدث للمنازل التي بناها الإنسان بالقرب من حقول الصهير أي دمار ذو أثر كبير يذكر ولم يصب الحرم المدني بأي أذى يذكر. كذلك لم يشعر الناس بالزلازل التي صاحبت خروج الصهير.. يذكر امبريسي أن مسجد الرسول في المدينة حصل له نوع من التأثير في أواخر العام بواسطة النيران وليس له أي ارتباط بالبركان).





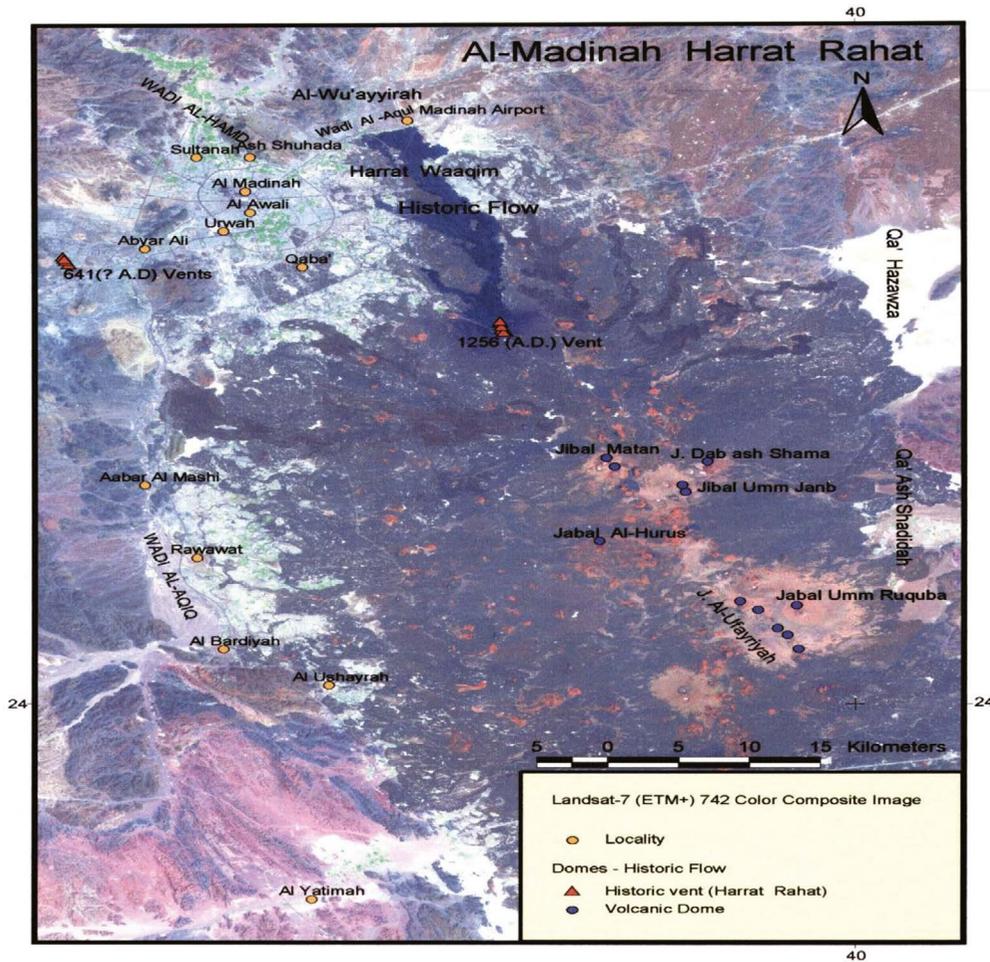
جدول زمني لأحداث الثوران البركاني في المدينة المنورة

يوم الجمعة الخامس من جمادى الآخرة عام 654هـ (30 يونيو عام 1256م)

التاريخ	أحداث وبيانات الثوران البركاني
الاثنين اليوم الأول من جمادى الآخرة سنة 654هـ الموافق 26 يونيو عام 1256م	بدأت سلسلة من الهزات المرتبطة بخروج صهيرة بركانية في منطقة المدينة المنورة وكانت مصحوبة بضوضاء لكن لم تسبب أي دمار.
الثلاثاء اليوم الثاني من جمادى الآخرة	هزة الأرض أصبحت قوية.
الأربعاء اليوم الثالث من جمادى الآخرة	زلزالي قوي ما بين الساعة الثانية والساعة السادسة صباحاً وأخاف سكان المدينة وتبعه زلازل صغيرة.
الخميس اليوم الرابع من جمادى الآخرة	وفي يوم 29 يونيو أصبحت الهزات أكثر حدة واستمرت طول هذا اليوم مع تزايد ملحوظ في قوتها مما أدى إلى انهيار عدد من المنازل والحصون في المدينة المنورة. كما استمرت الهزات الصغيرة على فترات متقطعة حتى صباح اليوم الثاني وحينها بدأ خروج كثيراً من الصهاره.
يوم الجمعة الخامس من جمادى الآخرة عام 654هـ الموافق 30 يونيو من عام 1256م.	18 زلزالاً تم تسجيلها وكان أكبرها في منتصف النهار وحيث هز أسقف المنازل في المدينة المنورة وبعد منتصف اليوم اندفعت الحمم والدخان من فوهة البركان في منطقة حرة رهاط على بُعد 19 كيلومتراً جنوب شرق المدينة المنورة. بدأ خروج الصهارة ولم يعرف أحد موقع فوهة البركان على وجه الدقة وقد شوهدت سحب كثيفة من الدخان، واستمرت عدة أيام وكانت تشاهد في كل من مكة وينبع وتيماء وقد قيل أن توهج خروج الصهيرة شوهد من أماكن بعيدة تصل إلى سوريا وإلى مسافة 900 كيلومتر إلى الشمال مما سبب بعض القلق في دمشق حتى عرف السبب وجاء في بعض التقارير تطاير الصخور والحصى في كل الاتجاهات. ولم يستطع أحد الإقتراب من مكان البركان بسبب شدة توهج البركان. وقد حدث البركان الرئيسي في منتصف النهار ولم يحدث أي دمار يذكر. وقد تدفقت الصهارة في اتجاه الشمال وتوقفت في جبل العويري في وادي الشاشات الذي يقع بالقرب من جبل أحد الذي يبعد عن المدينة 4 كيلومترات كما تدفق الصهير مسافة 19 كيلومتراً طولاً و 6 كيلومترات عرض و 2.5 كيلومتر سمك وحدث لها توابع لمدة ثلاثة أشهر وأغلقت وادي الشاشات وحملت الصهارة صخور في المقدمة وكونت هذه الصخور سد وأغلق سهل الحرة الذي يقع على طريق الحجاج القادمين من العراق



التاريخ	أحداث وبيانات الثوران البركاني
السبت السادس من جمادى الآخرة	بعد تلك الأحداث جميع سكان المدينة بما فيهم النساء والأطفال قد أدوا الصلاة في مسجد الرسول خلال يوم الخميس وحتى مساء يوم الجمعة، وتوقفت حمم البركان على مشارف المدينة (على بُعد 12 كيلو متراً منها) وتحولت إلى الشمال.
الأحد السابع والعشرون من رجب	توقفت الحمم بعد انسياب دام 52 يوماً من النشاط وقد غطت مسافة طولها 23 كيلو متراً.



موقع بركان المدينة التاريخي عام 1256 م في حرة رهط جنوب شرق المدينة المنورة سنة (882هـ / 1477م)



ذكر **علي بن الحسن بن أبي بكر بن الحسن بن وهاس الخزرجي** (توفي 812هـ / 1410م) أن **الفقيه علي بن محمد الناشري** قال: أخبرني بعض المسافرين في البحر إنه وقع في بلاد السودان زلزلة عظيمة أقامت أياماً متوالية دون العشر انهدمت فيها عدة مواضع وجبال كثيرة، ثم حصل في ناحية منها نارٌ عظيمة لها دخانٌ عظيمٌ وهربت الناس من ذلك الموضع، وأقامت النار أياماً والدخان متراكماً ثم تجسم ذلك الدخان وصار خيالاً في ذلك الموضع ولم يعهد قبل ذلك هنالك شيء من الخيال وكان هذا كله في أثناء النصف الأخير من السنة المذكورة والله أعلم) (الزيدي، 1983م).

وهذا البركان ترافق معه حدوث زلزال كما نلاحظ من النص.

سنة (991هـ / 1583م)

ذكر المؤرخ **ياسين بن خير الله العمري** (توفي 1235هـ / 1820م) أنه في هذه السنة (زلزل جبل في اليمن ثلاثة أيام، كل يوم عشرين مرة، وفي اليوم الرابع تقطع الجبل أربع قطع وخرج منه دخانٌ عظيمٌ) (ياسين العمري، 1974م).

سنة (1090هـ / 1679م)

قال **عبد الله الوزير** (توفي 1147هـ / 1735م): (وفي النصف الآخر من شعبان ظهرت نارٌ عظيمة في الجبل المقابل للمخا (في اليمن) المسمى سقار بالسين المهمل المضمومة والقاف المعجمة تلتهب بالجمر وترمي بشررها إلى البحر وتصعد في السماء كالمنارة العظيمة ويراه من في الجبال البعيدة كأجبالٍ وصاب وفي النهار يرى دخانها كالسحاب وتعقب ذلك زلازل بالمخا وأحرق قدر نصفه) (الوزير، 1985م).





سنة (1225هـ / 1810م)

ويحدثنا المؤرخ عبد الرحمن الجبرتي (توفي 1237هـ / 1822م) عن نشاط **بركاني** وقع في **مصر**، لكن لم يتشكل عنه جبلٌ أو ثورانٌ فقال: (من الحوادث الغربية أنه ظهر بالتلّ الكائن خارج رأس الصوة المعروفة الآن بالحطابة قبالة الباب المعروف بباب الوزير في وهدة بين التلول نار كامنة بداخل الأتربة واشتهر أمرها وشاع ذكرها وزاد ظهورها في أواخر هذه السنة فيظهر من خلال التراب ثقب ويخرج منها الدخان بروائح مختلفة كرائحة الخرق البالية وغير ذلك وكثير ترداد الناس للاطلاع عليها أفواجاً أفواجاً نساءً ورجالاً وأطفالاً فيمشون عليها ويجدون حرارتها تحت أرجلهم فيحفرون قليلاً فتظهر النار مثل نار الدمس فيقربون منها وإنّ غوّصوا فيها خشبة أو قصبه احترقت ولما شاع ذلك وأخبروا بها كتحدا بك فنزل إليها بجمع من أكابره وأتباعه وغيرهم وشاهد ذلك فأمر والي الشرطة بصب الماء عليها وإهالة الأتربة من أعالي التل فوقها ففعلوا ذلك وأحضروا السقائين وصبوا عليها بالقرب ماء كثيراً وأهالوا عليها الاتربة وبعد يومين صارت الناس المتجمعة والأطفال يحفرون تحت ذلك الماء المصبوب قليلاً؛ فتظهر النار ويظهر دخانها فيقربون منها الخرق والحلفاء واليدكات فتورى وتدخن واستمر الناس يغدون ويروحون **للفرجة** عليها نحو **شهرين** وشاهدت ذلك في **جملتهم ثم بطل ذلك** (الجبرتي، 1978م).





سكان الأمريكيتين القدماء

لطالما اعتقد الناس البدائيون في جميع أنحاء العالم أن البراكين كانت مأهولة بآلهة أو شياطين كانت مزاجية جداً وخطيرة ولا يمكن التنبؤ بها. لإرضاء الآلهة المتقلبة، قدم البشر لقرون التضحية القصوى. وهكذا قدم المايا والأزتيك والإنكا البشر لبراكينهم. اعتقد النيكاراغويون منذ فترة طويلة أن بركانهم الخطير كوسيغويونا Coseguina سيبقى هادئاً فقط إذا تم إلقاء طفل في الحفرة كل 25 عاماً. وبالمثل، أُلقيت شابات في فوهة بركان ماسايا في نيكاراغوا لتهدئة الحريق.

حتى وقت قريب، كان الناس على جافا يضحون بالبشر على بركان برومو، ولا يزالون يرمون الدجاج الحي في فوهة البركان مرة واحدة في السنة. الأشخاص الذين يعيشون بالقرب من براكين نياموراجيرا ونياراجونجو المخيفة في وسط إفريقيا ضحوا سنوياً بعشرة من أفضل محاربيهم لإله البركان القاسي نيوداداغورا. إلى أولئك الذين كانوا يشككون في مثل هذه الطقوس، وأشاروا إلى أن التضحيات السابقة قد فشلت في منع أو وقف الثوران، واجه المؤمنون الحجة القائلة بأن الأمور كانت ستصبح أسوأ بكثير دون التضحية.

أطلق شعب الأزتك على البراكين المحيطة بوادي المكسيك اسم آلهتهم. كان يتم تعبد بوبوكاتيبيتل وإيزتاكيهواتل، الكائنان إلى الشرق من الوادي، كآلهة مرتبطة بقصة حب جميلة. عندما عاد بوبوكاتيبيتل (Popocatepetl جبل)





الدخان) منتصراً من الحرب ليطالب بحبيبته، أرسل أعداؤه رسالة تفيد بأنه قُتل، وتوفيت الأميرة إيزتاسواتل Iztacchiuatl (المرأة النائمة) من الحزن. ثم بنى بوبوكاتيبيت جبلين كبيرين. على إحداها وضع جثة إيزتاسواتل؛ من ناحية أخرى يقف إلى الأبد حاملاً شعلة جنازتها (Sigurdsson, 2000).

الأوريون

لقد فكر الكثير من الأوريين في أمر البراكين في العصور الوسطى الأوربية، وحاولوا فهم سبب تشكل قممها النارية وزئيرها الغامض، ونظروا إليها على أنها مداخل للعالم السفلي، العالم الجهنمي للمذنبين المعذبين (Bullard, 1962). لقد جعل جحيم الإغريق والرومان التحول سهلاً نحو جحيم المسيحيين الأوائل، الموصوف في الكتاب المقدس بأنه مكان به نار أبدية لا يمكن إخمادها أبداً. تحدث القديس أغسطينوس Augustine of Hippo (توفي 430م) عن الجحيم لاحتوائه على بحيرة من النار والكبريت. بحلول العصور الوسطى، اكتسب الجحيم أهمية كبيرة، حيث كان معظم العلماء مقتنعين بأنه مكان حقيقي وناري. كان أحد الأماكن التي غالباً ما يُشار إليه كبوابة إلى الجحيم هو بركان جبل إتنا في صقلية، وأصبح (الإبحار إلى صقلية) تعبيراً ملطفاً عن الذهاب إلى الجحيم. وهكذا فقد تعرضت دراسة الأرض، مثل العديد من الأنشطة العلمية،





لانتكاسة مع نمو الدين المسيحي الجديد . وكان الدور الوحيد للبراكين في هذا النظام العالمي الجديد هو أن تكون بمثابة مذكر بحرائق الجحيم المشتعلة في الأسفل . استمر هذا الموقف غير العقلاني تجاه العلم بعد العصور الوسطى (Sigurdsson, 2000).

في القرن 14م، سجل مفكرو العصور الوسطى، مثل دانتي أليغييري Dante Alighieri (توفي 1321م) ، تكهناتهم حول أصل الأرض، ومع أن قدماء الأوربيين كانوا يملكون معرفة كبيرة بالمعادن واستخراج المعادن، لكن لم يبدأ البحث الجيولوجي عندهم عن الخطوط الحديثة حتى عصر النهضة الإيطالية. فقد أدرك مهندسون عمليون مثل ليوناردو دافنشي L. da Vinci (توفي 1519م) المعنى الحقيقي لقذائف البحر الموجودة في الصخور، وسرعان ما تعارض تفسير هذه الحفريات مع اللاهوت الكنسي، وفي وقت لاحق، عندما اعتبرت جميع الحفريات من بقايا طوفان عصر نوح ﷺ، جرى متابعة دراسة الجيولوجيا بشكل أساسي لتأثيرها على حساب تنوع المخلوقات. نتيجة لذلك، كانت المحاولات المبكرة للجيولوجيا، مثل تاريخ الأرض المقدس للأسقف غيلبرت بورنت G. Bur-nett (توفي 1715م)، نظراً لأنهم كانوا مهتمين بخلق العالم ونشأة الكون. بعد نحو مائة عام، أظهرت أساليب الاستقصاء الجيولوجي حقائق لا تتفق مع رواية تنوع المخلوقات، فنشأ جدلٌ مثيرٌ بين الجيولوجيا واللاهوت. تتعامل الجيولوجيا مع الأرض ككل، في حين حتى ذلك الوقت كان الاهتمام مركزاً حول منشأ الأرض وليس حول المراحل اللاحقة من تاريخها. وبالتالي، كان هؤلاء المفكرون علماء حول نشأة الكون أكثر من كونهم جيولوجيين. لم تطور، حتى يومنا هذا، نظرية





مرضية تماماً عن أصل الأرض؛ ومع ذلك استمرت الجيولوجيا في التقدم، لكن كما حذر عالم نشأة الكون الحديث، هارلو شابلي H. Shapley (توفي 1972م) حيث قال: (... يجب أن نتذكر أن أصعب مشاكل نشأة الكون لن يجري التخلص منها بالضرورة حتى لو حصلنا على نظرية مرضية عن أصل الأرض؛ لأننا نسأل على الفور عن أصل الشمس والمجرات ونعود في النهاية إلى الغازِ أعمق تتعلق بأصل المادة وأصل المكان والزمان. لذلك فإن نشأة الكواكب ليست سوى شركٍ يؤدي إلى عمليات عالمية) (Bullard, 1962).

كانت أول مساهمةٍ جديرةٍ بالملاحظة بعد هذه الفترة عمل بعنوان (ملاحظات على بركان فيزوف وبركان إتنا، والبراكين الأخرى) بقلم السير وليم هاميلتون W. Hamilton (توفي 1802م)، السفير الإنجليزي في نابولي، الذي نُشر عام 1774م. كان هاميلتون طالباً متحمساً للبراكين، ولا تزال رواياته المباشرة عن انفجارات براكين إيطاليا توفر مصدراً قيماً للمعلومات.

وكان عالم الطبيعة الإيطالي لازارو سبالانزاني L. Spallanzani (توفي 1799م)، من أوائل الذين طبقوا الأساليب التجريبية على الصخور البركانية، فقد حاول معرفة ما إذا كانت الغازات ستخرج عند انصهار الحمم البركانية وتحديد تكوين هذه الغازات. لم تكن نتائجه حاسمةً، لكن من الواضح أنه كان على المسار الصحيح. اشتهر سبالانزاني بأوصاف رحلاته عبر المناطق البركانية في إيطاليا، التي تفوق بكثير في الدقة العلمية والاكتمال جميع المساهمات السابقة ذات الطبيعة المماثلة.





في الوقت نفسه تقريباً أظهر الجيولوجي الفرنسي غراتيت دي دولوميو G. de Dolomieu (توفي 1809م)، مقدار ما يمكن تعلمه عن الأنشطة البركانية من خلال دراسة المواد المقذوفة؛ إذ بدلاً من حصر دراسته، كما فعل أسلافه، على المخروط البركاني والنشاط البركاني، درس دولوميو نواتج ثوران الحمم والمقذوفات البركانية وقارن هذه مع الصخور الأخرى. توصل إلى الاستنتاج الصحيح بأن هناك سلسلة كاملة من المراحل الانتقالية بين الحمم البلورية الخشنة والسبج الزجاجي. أكد دولوميو الأصل البركاني للبازلت وأدرك التشابه بين سبيل الحمم البركانية لجبل إتنا وبعض ما يسمى بـ (الصخر المصطبي) Trap rocks في جنوب فرنسا، مما يؤكد أنّ أصلها بركاني، كما لفت دولوميو الانتباه إلى التركيب غير المعتاد لبعض الأحجار الجيرية في جبال الألب، التي أظهر أنّها تحوي على نسبة عالية من كربونات المغنيسيوم بالإضافة إلى كربونات الكالسيوم المعتادة. تُعرف هذه الصخرة اليوم باسم (الدولوميت). كما استمر اسم دولوميو أيضاً في اسم (Dolomites) الذي يطلق على منطقة تيرول Tyrol الجميلة في جبال الألب في شمال إيطاليا (Bullard, 1962).





التفاعلات الكيميائية الناشئة للحرارة

مع حلول القرن الثامن عشر، بقي معظم الكتاب في فلسفة الطبيعة يعتبرون أن الله خلق الأرض كموطن للبشر، وقد مرت بمراحل معينة من التطور منذ ذلك الحين، وأنه في النهاية سيتحول أو يدمر من قبله. كان هذا واضحاً في كتابات جون ويسلي J. Wesley (توفي في 1791م)، مؤسس المنهجية، الذي علم أنه قبل دخول الخطيئة إلى العالم، لم تكن هناك زلازل أو براكين، وإنما كانت هناك تشنجات الأرض هذه مجرد (تأثير تلك اللعنة التي جلبت على الأرض من خلال التعدي الأصلي).

تزامنت العصور الوسطى المبكرة لأوروبا الغربية مع نمو ملحوظ في التعلم في البلدان الآسيوية، التي كانت في أوجها من 800م إلى 1100م. وخلافاً للفلسفة المسيحية، شجع القرآن الكريم في العالم الإسلامي على ممارسة التمكن من التفكير، ودراسة الطبيعة. على عكس معظم الأوربيين المتعلمين، الذين رأوا الطبيعة بمثابة توضيح حي لمقاصد الله الأخلاقية، سعى العرب للحصول على المعرفة التي من شأنها أن تمنحهم القوة والسيطرة على الطبيعة. ومن العناصر التي برزت بشكل بارز في دراساتهم الكبريت، الذي جرى استخراجه جزئياً من البراكين. كان اكتشافهم أن الكبريت يمكن أن ينبعث منه أيضاً حرارة في التفاعلات الكيميائية هو توليد فكرة أن الفعل البركاني يتغذى أيضاً من الكبريت في الأرض.





وجه الكيمائيون الأوربيون الأوائل ضربة قاتلة إلى نظرية الاحتراق الداخلي كمصدر للحرائق الجوفية. رفض إدوارد جوردن E. Jordan (توفي في 1632م) في عمله (مناقشة حول حمامات الطبيعة والمياه المعدنية Discourse of Naturall Bathes and Minerall Waters) (1632) فكرة أن الأرض عبارة عن فرن أجوف وناري به حريق عالمي يغذيه الفحم القابل للاشتعال أو القار أو الكبريت، وأشار إلى المشكلة الأساسية فيما يتعلق بالنار الداخلي: إنها تتطلب كمية هائلة من الهواء لإبقائها دافئة. سيتم إطفاء أي شعلة محصورة بدون وصول هواء وفير قريباً، لأن الأبخرة شديدة الانفجار... اختره إذا لم يكن هناك تنفيس لهم في رأس آير [واحد من ستة رؤوس لجزيرة آيل أوف مان التي تقع بين المملكة المتحدة وأيرلندا]، ولا يمكن لمثل هذه الوفرة من الهواء أن تصل إلى الأجزاء العميقة من الأرض لإشعال النار المركزية.

بدلاً من ذلك، اقترح جوردن أن المناطق البركانية تقع تحت عمق ضحل فقط عن طريق (تخمير) المواد. كمصدر للحرارة، سعى للحصول على تفسير في عملية التفاعلات الكيميائية كأساس لنظام جديد للأرض. يمكن أن يحدث (التخمير) أو التفاعل الكيميائي في وجود الماء، الذي كان واضحاً بوفرة في أعماق القشرة الأرضية، في حين أن الاحتراق لا يمكن أن يستمر في وجود الماء. مع أن منطقته المنطقي كان يجب أن ينهي فرضية الاحتراق كمصدر للحرارة في الأرض، استمرت الفكرة جيداً في أواخر القرن الثامن عشر.





كيميائي رائد آخر هو روبرت هوك R. Hooke (توفي 1703م)، الذي بدأ حياته المهنية كمساعد مختبر لروبرت بويل R. Boyle (توفي 1691م) في أكسفورد. كان هوك من أوائل الذين ميزوا بشكل واضح بين الحرارة والنار والذهب، وقام مع بويل بدراسة مختلف ظواهر الحرارة. طور نظرية (نيترو-جوي) للاحتراق، حيث جرى تشبيه الرعد والبرق بوميض وانفجار البارود، أثناء احتراق الكبريت والنيترو. تذكرنا هذه الأفكار بعمل ليبرتي فورموندي Liberti Fromondi (توفي 1653م) في كتابه الأرصاد الجوية Meteorologicorum (عام 1627م)، حيث جرت مقارنة القوة الانفجارية للزلازل والانفجارات البركانية بتأثير البارود.

ينسب هوك النشاط البركاني إلى (التجمع العام للأبخرة الكبريتية تحت الأرض). في عمله على محاضرات وخطابات الزلازل والثورات الجوفية (1668)، ادعى هوك أيضاً أن النشاط الجيولوجي كان في طريقه إلى التضاؤل، وأن الوقود الجوفي كان أكثر وفرة في التاريخ الماضي للأرض، عندما كانت الانفجارات البركانية والزلازل أكثر حدة على ما يبدو: (إن أنواع الوقود الجوفية أيضاً تهدر وتتحلل، كما هو واضح من انقراض وتوقف العديد من أنواع البراكين التي كانت مستعرة حتى الوقت الحالي). اللورد كلفن عام 1889م.

اهتم إسحاق نيوتن I. Newton (توفي 1727م) بعملية البراكين، لكن أفكاره حول أسباب هذه الظاهرة مستمدة من الكيميائيين المعاصرين والكيميائيين الأوائل. من الواضح أن أفكاره حول أسباب (حرق الجبال) هي نتيجة مباشرة لعمله السري في الكيمياء. في تجارب نيوتن الكيميائية، كان قد لاحظ انتشار





الحرارة، أو التفاعلات الطاردة للحرارة، عندما اختلطت بعض المواد معاً، مثل (عندما يصب حمض النتريك، أو روح الكبريت، على برادة من الحديد يذوب البرادة مع حرارة كبيرة وغضب). ومع بعض الخلائط الكبريتية الأخرى (نمت السوائل بشدة عند الاختلاط كما هو الحال في الوقت الحالي لإطلاق لهب مشتعل)، و(فولمينان اللب، المكون من الكبريت، والنترات، وملح الجير، ينفجر بشكل مفاجئ أكثر وانفجار عنيف من البارود).

بحلول عام 1692م، صاغ نيوتن آراء حول أصل الحرارة في الأرض وشدتها، وقارنها بالإشعاع الذي تتلقاه الأرض من الشمس: (أعتبر أن أرضنا تسخن كثيراً في أحشائها أسفل القشرة العلوية عن طريق التخمر الجوفي للأجسام المعدنية أكثر من الشمس). أما أسباب البراكين: (وحتى الجسم الإجمالي من مسحوق الكبريت، وبوزن متساوٍ من برادة الحديد وقليل من الماء لصنع عجينة، يعمل على الحديد، وفي غضون خمس أو ست ساعات يصبح ساخناً جداً بحيث لا يمكن لمسه وينبعث منه اللهب. وبهذه التجارب مقارنة بالكمية الكبيرة من الكبريت التي تزخر بها الأرض، وسخونة الأجزاء الداخلية من الأرض والينابيع الحارة والجبال المحترقة، والرطوبة، والتكوينات المعدنية، والزلازل، والزفير الخانق الحار، والأعاصير، وقد نتعلم أن بخار كبريتية تكثرت في أحشاء الأرض وتتخمر بالمعادن، وأحياناً تشتعل فيها النيران بصدمة مفاجئة وانفجار، وإذا كانت مكبوتة في الكهوف الجوفية تتفجر الكهوف مع اهتزاز كبير للأرض كما في ظهور منجم).





جرى تطوير فرضية جديدة ومؤثرة حول التفاعلات الكيميائية الطاردة للحرارة كقوة دافعة للبراكين مع اكتشاف المعادن القلوية بواسطة همفري ديفي H. Davy (توفي 1829م). لم تتطلب النظرية الكيميائية الجديدة وجود سائل داخلي، أو مخزن ضخيم للكبريت، أو حريق داخلي في الأرض، وكانت متوافقة مع الفكرة السائدة بأن النشاط البركاني في الأرض يتناقص تدريجياً. كان لديفي اهتمام كبير بالجيولوجيا، حيث أسس في النهاية الجمعية الجيولوجية في لندن عام 1807م. في تلك السنة تمكن لأول مرة من عزل معادن الأتربة القلوية - البوتاسيوم والصوديوم ثم الكالسيوم والسترونشيوم والمغنيسيوم والباريوم - عن طريق التحليل الكهربائي.

الحرارة المرتفعة التي تحررت عند أكسدة أو (احتراق) هذه المعادن عند التفاعل مع الماء، مع اللهب والانفجارات المذهلة، أثارت إعجاب ديفي لدرجة أنها دفعته إلى اقتراح فرضية جديدة للبراكين في عام 1808م. بعد اكتشافاته الكيميائية الشهيرة، كان ديفي مقتنعاً بأن الحرارة المنبعثة أثناء أكسدة القلويات والأتربة القلوية كانت مصدر الحرارة للفعل البركاني، بافتراض وجود كميات كبيرة من الأتربة القلوية المعدنية داخل الأرض تحت المناطق البركانية.

كان غوستاف بيشوف G. Bischof (توفي 1870م) في ألمانيا من أشد منتقدي نظرية ديفي عن الحرارة البركانية. اتخذ بيشوف ترتيب البراكين في خطوط كبيرة على مستوى القارة على سطح الأرض كمؤشر واضح على أصل عميق الجذور للفعل البركاني، واستبعد أي مصدر سطحي داخل القشرة الأرضية. أكد ديفي أن الهواء يمكن أن يدور عبر الأرض عبر الفوهات البركانية وبالتالي





المشاركة في تفاعلات الأكسدة المسببة للحرارة. لكن الكيميائي الفرنسي جوزيف لويس جاي-لوساك J. L. Gay-Lussac (توفي 1850م) أظهر بالمنطق أنه من المستحيل أن يدخل الهواء الجوي في أعماق البراكين، لأن ضغط السائل المنصهر عالي الكثافة يتأثر بالخارج. لا يمكن أن يتدفق الهواء إلى النظام البركاني ويغذي تفاعلات الأكسدة عكس مثل هذا التدرج الحاد في الضغط.

درس تشارلز لايل Ch. Lyell (توفي 1875م) في مبادئ الجيولوجيا (1830) الدور المحتمل لأكسدة القلويات والأترية القلوية كمصدر كيميائي للحرارة، متبعاً أفكار ديفي عن كذب: (فبدلاً من استخدام الحرارة المركزية الأصلية، ربما نحيل حرارة الداخل إلى التغيرات الكيميائية التي تحدث باستمرار في القشرة الأرضية؛ بالنسبة للتأثير العام للجمع الكيميائي، هو تطور الحرارة والكهرباء، التي بدورها تصبح مصادر لتغيرات كيميائية جديدة. لقد اقترح أن معادن الأرض والقلويات قد توجد في حالة غير مؤكسدة في المناطق الجوفية، وأن التلامس العرضي للمياه مع هذه المعادن يجب أن ينتج حرارة شديدة. يمكن للهيدروجين، الذي يتطور أثناء عملية التشبع، أن يختزلها مرة أخرى إلى معادن عند ملامسته لأكاسيد الفلزات الساخنة؛ وقد تكون دائرة العمل هذه إحدى الوسائل الرئيسية التي يجري من خلالها الحفاظ على الحرارة الداخلية واستقرار الطاقة البركانية).

حتى قُرب نهاية القرن التاسع عشر كانت النظرية الكيميائية لا تزال حية. ومع وجود اعتراضات عديدة، كانت النظرية الكيميائية للبراكين طويلة الأمد بشكل مدهش، واستمر العلماء البارزون في الاستمتاع بها حتى منتصف القرن





العشرين. كان آرثر لويس داي A. L. Day (توفي 1960م) آخر مؤيدي النظرية الكيميائية، عندما اقترح في عام 1925م أن التفاعل الكيميائي بين الغازات يقوم بدور رئيس في توليد الحرارة البركانية. في رأيه، تلتقي الغازات المختلفة من مصادر مختلفة في الأرض داخل القشرة، وتؤدي تفاعلاتها إلى اندماج محلي وتوليد الصهارة. كانت هذه الفكرة جذابة بشكل خاص لهارولد جيفريز H. Jeffreys (توفي 1989م)، الجيوفيزيائي الرائد في أوائل القرن العشرين. لقد اعتبر الفلكنة على أنها (محلية وعرضية، وليست دائمة وعالمية). في حساب الانفجارات (المحلية والعرضية)، ناشد جيفريز نظرية داي الكيميائية لتوليد الحرارة والذوبان في الأرض. (Sigurdsson, 2000)

• نجمة التبريد

خلال الجزء الأخير من القرن السابع عشر، تبنى العديد من الفلاسفة الرأي القائل بأن البراكين تنشأ بسبب الحرارة الأصلية أو البدائية في الأرض. كان أول هؤلاء عالم الرياضيات الفرنسي رينيه ديكارت R. Descartes (توفي 1650م)، الذي كان لأعماله تأثير عميق على التفكير في أصل الأرض. نشأ النظام الشمسي، كما اقترح، كسلسلة من (الدوامات)، حيث ظهرت الأرض أولاً كنجم، (تختلف عن الشمس فقط في كونها أصغر)، وتجمع المادة الكثيفة والمظلمة عن طريق الجاذبية وفقدان الطاقة عندما تقع المادة في مكانها عن طريق التكثيف الغازي.

قام بتقسيم الأرض إلى ثلاث مناطق: نواة تتكون من مادة متوهجة مثل الشمس، ومنطقة وسطى من مادة صلبة معتمة (سائلة سابقاً لكنها مبردة





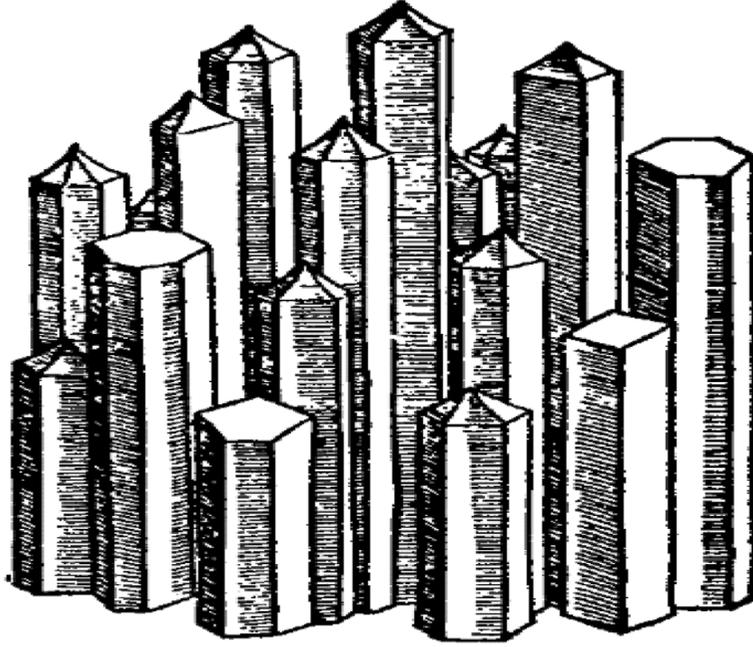
حالياً)؛ ومنطقة خارجية، القشرة الصلبة. جرى ترتيب كل هذه الطبقات بهذه الطريقة متحدة المركز بحكم كثافتها. في هذا المخطط، حسب قوله، كان هناك ما يكفي من الحرارة البدائية المتبقية لتزويد أي بركان.

أثرت أفكار ديكارت على بارون فون ليبنيز B. von Leibniz (توفي 1716م)، عالم الرياضيات الألماني الذي اقترح أن الأرض يجب أن تكون موجودة في الأصل في حالة اندماج، وبالتالي اكتسبت شكلها الكروي وهيكلها الصديفي المركز، مع تركيز المعادن الأكثر كثافة في المركز. نظراً لعدم وجود مصدر مستقل للحرارة، فقد برد الكوكب عن طريق التوصيل البسيط على مدار الزمن الجيولوجي، مكوناً قشرة صخرية وغير منتظمة. كانت فرضية ديكارت القائلة بأن الأرض تحوي على مخزون ضخم من الحرارة الداخلية البدائية ذات أهمية أساسية في تطور الجيوفيزياء وعلم البراكين.

• انتصار البلوتونيين على النبتونيين

يعتقد فلاسفة القرون الوسطى أن بعض الصخور، التي جرى اكتشافها لاحقاً على أنها من أصل بركاني، نشأت عن طريق هطول الأمطار من الماء. وهكذا كان الفيلسوف السويسري كونراد غيسنر K. Gesner (توفي 1565م) مقتنعاً بأن أعمدة البازلت المتناسقة والسداسية تماماً للعديد من تدفقات الحمم البركانية قد ترسبت كبلورات عملاقة من محيط بدائي.





في أواخر القرن السادس عشر، رسم كونراد جيسنر أعمدة بازلتية سداسية لتدفقات الحمم البركانية مع نهايات كبلورات، لأنه كان يعتقد أنها ترسبت على شكل بلورات عملاقة من محيط بدائي - تماشياً مع وجهة نظر النبتونيين عن الأصل المائي للبازلت.

بعد قرنين من الزمان، كان لايزال ريتشارد بوكوك R. Pococke (توفي 1765م) يدعي أن أعمدة ممر العمالقة Giant's Causeway، تلك الأعمدة الضخمة ذات الجوانب الستة من البازلت التي ترتفع من البحر في أيرلندا الشمالية، قد تشكلت عن طريق هطول الأمطار من وسط مائي. إن مفهوم شكل التبلور لهذه الهياكل الصخرية عالية الترتيب ليس مفاجئاً، بالنظر إلى شكلها المعتاد: تشبه أعمدة جسر العملاق في كثير من النواحي البلورات العملاقة التي ربما تكون



قد ترسبت من مياه المحيطات. كان النقاش حول الأصل البركاني مقابل الأصل المائي للبازلت من أعنف الخلافات في تاريخ علوم الأرض.



ممر العمالقة كما يشاهد اليوم. وهو مساحة تبلغ نحو 40000 عمود من البازلت المتشابك، نتيجة انفجار بركاني قديم. يقع في مقاطعة أنتريم County Antrim على الساحل الشمالي لأيرلندا الشمالية، على بُعد نحو (5 كم) شمال شرق مدينة بوشميليس Bushmills. (https://en.wikipedia.org/wiki/Giant%27s_Causeway)





كانت فكرة ترسيب الصخور من محيط كبير ذات أصول لاهوتية قوية في أسطورة الطوفان العظيم. كان الشخصية البارزة في مدرسة نبتون هو أبراهام غوتلوب فيرنر A. G. Werner (توفي 1817م). كان من بين طلابه أشهر علماء الجيولوجيا في عصره، بما في ذلك ألكسندر فون هومبولت، وليوبولد فون بوخ، وجورج كوفييه، ويوهان فولفغانغ غوته، وجان فرانكو، وأويس دي أوبوسون، وروبرت جيمسون.

اعتبر فيرنر البراكين ذات أهمية ثانوية، أو كظواهر عرضية وحديثة نسبياً أو ما بعد ظهور المياه على الأرض. وادعى أنها تدين بوجودها إلى فعل النار (كما اقترح فلاسفة العصور الوسطى)، التي يجري تشيبتها من خلال اشتعال رواسب الفحم أو غيرها من المواد القابلة للاشتعال في باطن الأرض: (تنشأ معظم البراكين، إن لم يكن كلها، من احتراق طبقات الفحم تحت الأرض). لدعم هذه الفكرة، اقترح أن رواسب الفحم أو المواد القابلة للاحتراق الأخرى كانت موجودة دائماً بالقرب من البراكين.

بحلول النصف الأول من القرن الثامن عشر، كان الكيميائيون على دراية بتكوين البلورات في المختبر بصفاتها نتيجةً للترسيب من محلول مائي. نظراً لأن فيرنر وأتباعه قد أدركوا أن البازلت كان صخرة بلورية، فربما لم يكن من غير الطبيعي أنهم استنتجوا أيضاً أصله على أنه راسب من محلول مائي. حتى منتصف القرن الثامن عشر بدأت الفكرة تنتشر ببطء أن التبلور يمكن أن يحدث أيضاً نتيجة إزالة الحرارة من ذوبان السيليكات. في عام 1761م اشتكى بيير كليمنت غرينون P. C. Grignon (توفي 1784م) من أن الكيميائيين بالغوا في





التأكيد على **النظم المائية**، مشيراً بعد أن تمكن من **استخلاص** بلّورات من خبث الزجاج، أن **منتجات الأفران الزجاجية** تقارن ب**منتجات البراكين**.

بدأت فكرة أن **الصحارة** كانت حلاً يمكن أن ينتج بلّورات في الظهور، وتبنت مجموعة من **الجيولوجيين** وجهة النظر القائلة بأن **البازلت يدين** بأصله إلى **تصلب الصحارة**. أصبح أتباع هذه النظرية **معروفين** باسم **(البلوتونيين)**. اختلاف عميق بين **نظريتي النبتونيين والبلوتونيين** فيما يتعلق بكمية ودور **الحرارة** في باطن الكوكب. رأى **النبتونيين** دوراً ضئيلاً **للحرارة** كعامل **جيولوجي** واعتبروا البركان ظاهرة **ثانوية** تتعلق بعمليات **المستوى الضحل**.

من ناحية أخرى، رأى **البلوتونيين** أن **الحرارة** هي **القوة الدافعة الأساسية**، مشيرين إلى **وفرة البراكين والبازلت والغرانيت** كدليل على **ذوبان الصخور** في درجات **حرارة عالية** داخل الأرض. بحلول **أوائل القرن التاسع عشر**، ضعفت **نظرية النبتونيين بشدة** وواجهت معارضة **متزايدة**، خاصة عندما تبين أن **معادن السيليكات** التي تتكون منها **الصخور البلورية**، مثل: **البازلت**، و**الغرانيت** غير قابلة **للذوبان** في **المحاليل المائية** عند درجة **الحرارة العادية**. (Sigurdsson, 2000).

• أول علماء البراكين الميدانيين

استندت معظم الأفكار المبكرة حول **الحرارة** في الأرض إلى **(جيولوجيا الكرسى بذراعين)**، وهي **تكهنات** تستند إلى القليل من **الملاحظة الميدانية** أو لا توجد على الإطلاق. في **القرن الثامن عشر**، تطور نهج **دراسة أصل الأرض**



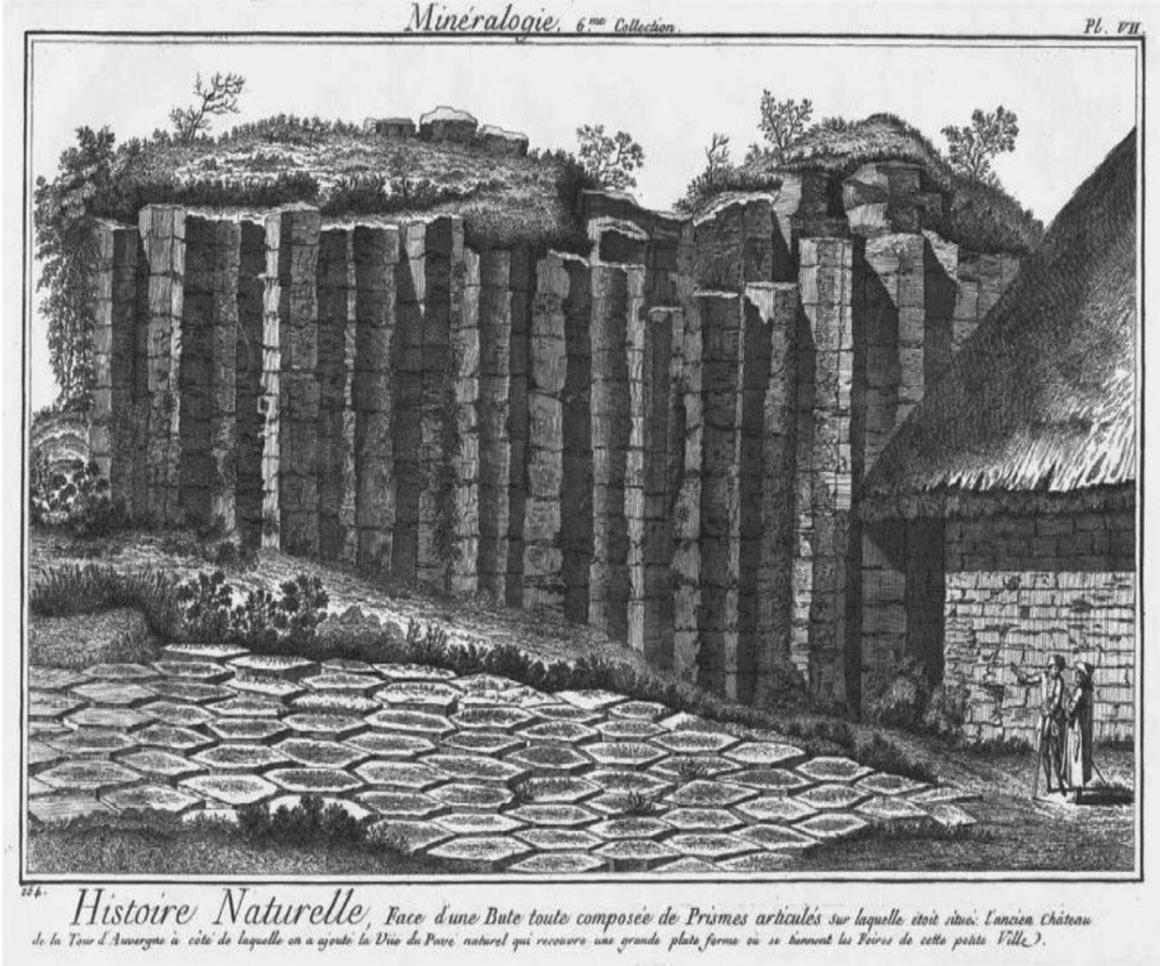


تدرجياً من التكهّنات البحتة إلى البحث عن إجابات في التكوّينات الصخرية المكشوفة على السطح وفي مهاوي المناجم. كانت أعمال بعض الرجال، بمن فيهم أولئك المرتبطون بصناعة التعدين الكبرى في جنوب ألمانيا، هي التي أحدثت ثورة في دراسة الأرض واختراع جيولوجيا الميدان.

جرى تحقيق قفزة كبيرة في علم البراكين عندما تمكن الجيولوجيون من تحديد الصخور القديمة على أنها من أصل بركاني، في مناطق بعيدة عن البراكين النشطة. حدث هذا الاختراق في منتصف القرن الثامن عشر في فرنسا.

في عام 1751م قام جان إتيان غيتارد J. E. Guettard (توفي في 1786م) وصديقه غواليوم دي ماليشيريس G. de Malesherbes (توفي في 1794م) برحلة عبر منطقة أوفيرني، حيث لاحظوا بعض الأحجار غير العادية تماماً والسوداء والمسامية في أعمدة الميل، واشتبه غيتارد على الفور في أنها صخور الحمم البركانية. ثم قاموا بزيارة فولفيك Volvic، حيث لاحظ غيتارد طبقات الصخور المغموسة ذات الأسطح العلوية والسفلية الصخرية وغيرها من العلامات الدالة على النشاط البركاني. وخلص إلى أن الحجارة كانت بالفعل من تدفق كبير للحمم البركانية. عندما أتوا إلى منطقة بوي دي دوم Puy de Dome، أدرك غيتارد أن الصخور البازلتية للحمم البركانية المتصلبة قد تدفقت من فوهة البركان القديمة في التل المخروطي.



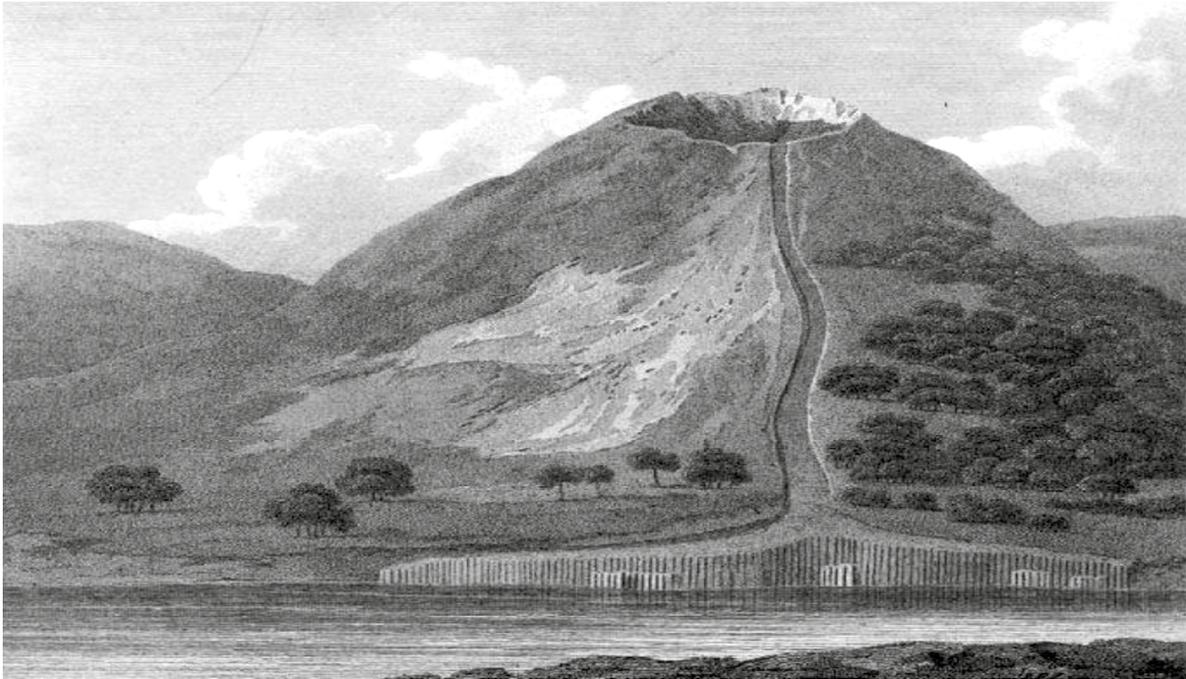


حدد الجيولوجيان الرائدان نيكولاس ديسماريس وجان إتيان غيتارد الصخور القديمة في وسط فرنسا على أنها بركانية في الأصل، مع أنها بعيدة كل البعد عن البراكين النشطة. تُظهر هذه المطبوعة التي تعود إلى القرن السابع عشر بازلتاً سداسياً عمودياً في منطقة أوفيرني، حيث أظهر ديسماريس أصلها البركاني. (Sigurdsson, 2000)





كان العالم الجيولوجي نيكولاس ديسماريس N. Desmarest (توفي في 1815م) أول من أظهر الأصل البركاني للبازلت. في عام 1763م وجد بازلت موشوري يشكل أعمدة سداسية في جنوب غرب كليرمونت. تتبع الصخور إلى مصدرها، وجد أعمدة مماثلة تقف عمودياً في الجرف أعلاه، تتدرج صعوداً في الجزء العلوي من تدفق الحمم الصخرية. تعتبر ملاحظته البسيطة لترابط البازلت العمودي كمكون لتدفق الحمم البركانية بمثابة تقدم كبير في العلم.



عندما قُبلَ الأصل البركاني للبازلت العمودي، أظهر علماء البراكين الأوائل بسرعة أنه حدث كتدفق للحمم البركانية، وكان مرتبطاً بفتحات بركانية، كما هو موضح في هذا النقش في القرن الثامن عشر. (Sigurdsson, 2000)

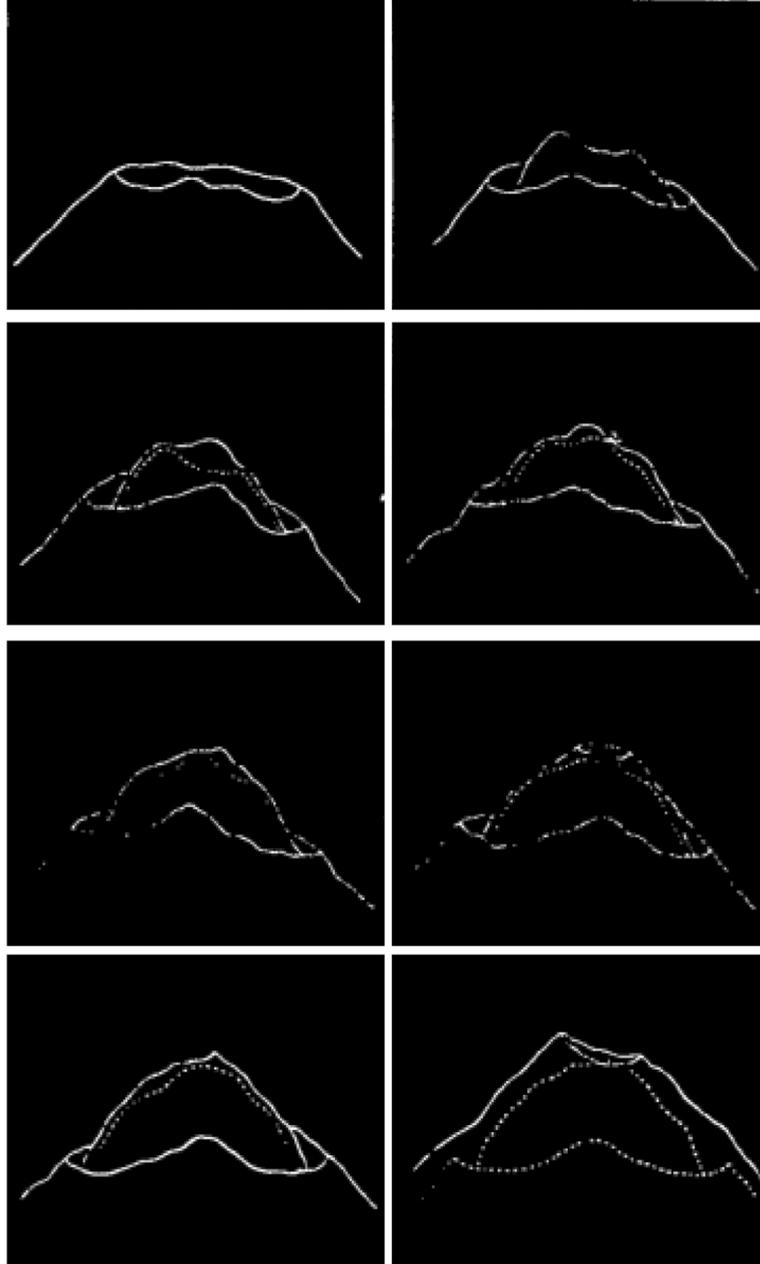




مع أن ديسمارس أظهر بشكل لا لبس فيه الأصل البركاني للبازلت، فقد استمر الجدل بين البركانيين والنبتونييين في القرن التاسع عشر، كما عارض الكثيرون بشدة نظريته عن البازلت كحمم بركانية.

من بين الرواد في علم البراكين الميداني كان وليم هاملتون، الذي أقام في نابولي لعدة عقود، وكان لديه فرصة كبيرة لدراسة بركان فيزوف. من بين العديد من ملاحظاته كانت رسومات دقيقة قام بها للخطوط العريضة المتغيرة للبركان أثناء ثوران عام 1767م .



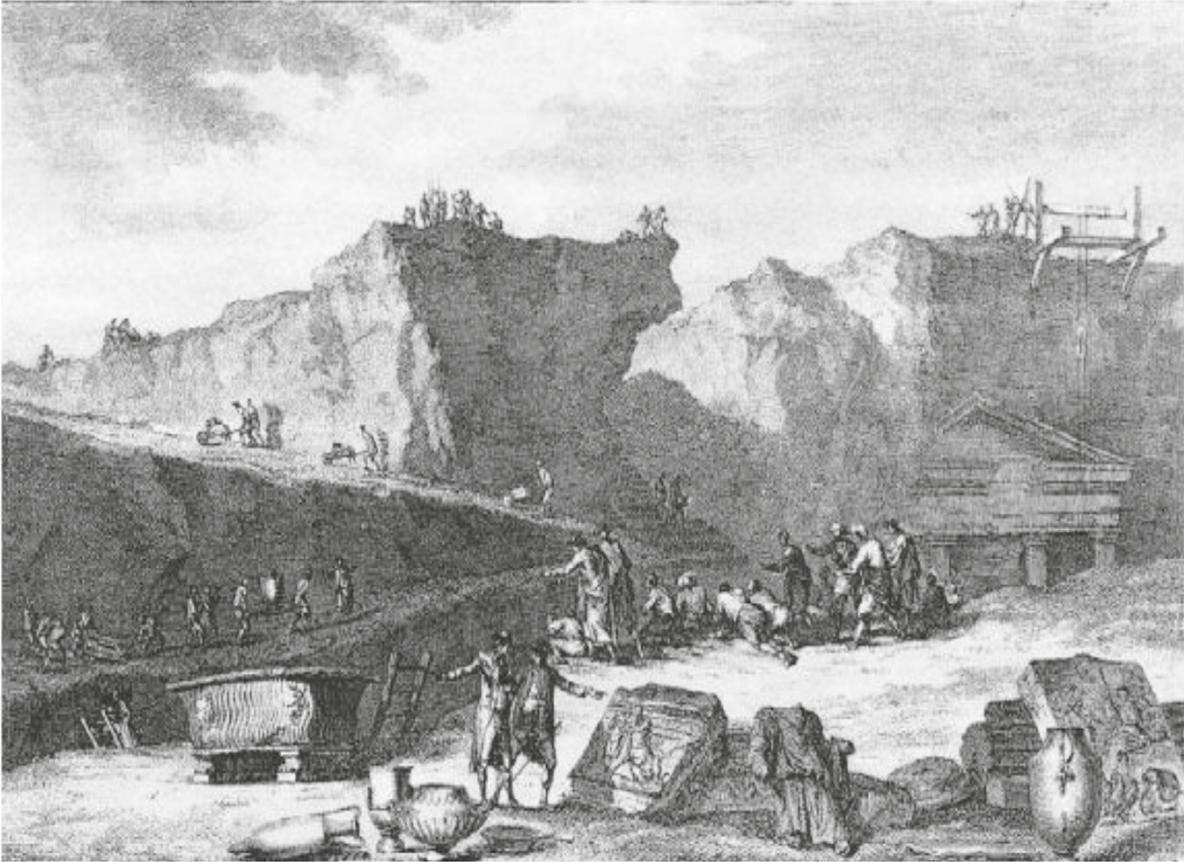


أجرى **وليم هاملتون** بعض القياسات الكمية الأولى للتشكل البركاني، عندما تتبع بعناية المخطط المتغير لقمة بركان **فيزوف** أثناء **ثوران البركان** عام 1767م (Sigurdsson, 2000)





كان **هاملتون** محظوظاً أيضاً لكونه مقيماً في نابولي عندما كانت الاكتشافات والحفريات المبكرة تجري في **هيركولانيوم وبومبي**، وهي الاكتشافات التي سلطت الضوء على القوة التدميرية لثوران بركان **فيزوف 79** ميلادياً



نقش من القرن الثامن عشر يُظهر أعمال التنقيب في مدينة **هيركولانيوم الرومانية**، التي دفنها ثوران بركان **فيزوف 79** ميلادياً. مع أن تأثير الحفريات كان في المقام الأول على علم الآثار وتاريخ الفن، إلا أنه كان أيضاً تذكيراً قوياً بالقوة التدميرية الكلية للثوران البركاني للعلماء الزائرين، مثل: **يوهان فولفغانغ جوته** و**ويليام هاملتون**. (Sigurdsson, 2000)





• تجارب البلوتونيين

كان زعيم البلوتونيين بلا منازع هو الجيولوجي الأسكتلندي جيمس هوتون J. Hutton (توفي 1797م). بين ظاهرة تغلغل الصهارة في طبقات الصخور، واقترح أن هذه الصخور المنصهرة نشأت في المناطق الداخلية شديدة الحرارة من عمق الأرض. كرس هوتون الكثير من الطاقة للعمل الميداني، ودراسة الطبقات الجيولوجية في إسكتلندا وإنجلترا وفرنسا.

كان هوتون رجلاً متديناً بشدة وجادل بأن عمليات الأرض اتبعت خطة إلهية. وهكذا، كانت البراكين موجودة كصمامات أمان لإطلاق الحرارة الزائدة من داخل الأرض، وكقوة عالمية، لأن قوتها التوسعية والرافعة كانت ضرورية لرفع سطح الأرض والمساهمة في التربة، بحيث يمكن للنباتات وقد تزدهر الحيوانات. وهكذا رأى هوتون البراكين كوسيلة لتحقيق هدف أعلى في الترتيب الطبيعي للأشياء.

لاحظ هوتون وأتباعه طبقات في قشرة الأرض، بينما كانت تشبه البازلت في الخصائص المعدنية وغيرها، كانت محصورة بين طبقات الصخور الرسوبية. لقد أدركوا أن هذه الصخور، التي أشاروا إليها بمصطلح التعدين الشائع الصخر البازلتي وينستون Whinstone، لم تكن بركانية بل من أصل بركاني، وقد جرى إقحامها بقوة بين الطبقات الرسوبية. علاوة على ذلك، خلصوا إلى أن هذه الصخور قد تجمّدت من الصهارة.





أكد العديد من معارضي هوتون أن ذوبان وتصلب الصخور البلورية، مثل: الغرانيت أو الغابرو، لن ينتج عنه سوى كتلة زجاجية غير متبلورة عند التبريد، كما يلاحظ في أفران صناعة الزجاج، وبالتالي لا يمكن أن تنتج العملية البازلت، المتوهج، أو الصخور البركانية الأخرى. هذا الاعتراض على النظرية الهوتونية جرت معالجته بشكل تجريبي من قبل الجيولوجي والكيميائي الأسكتلندي جيمس هول J. Hall (توفي 1832م).

لاختبار ادعاء هوتون أن الصخور مثل الصخر البازلتي أو البازلت مشتقة من الصهارة، شرع هول في إجراء تجارب على انصهار البازلت وتبريده. قام أولاً بصهر عينات الحمم البركانية والبازلت، ثم قام بتحويل الصخور المنصهرة إلى زجاج عن طريق التبريد. قام هول بعد ذلك مباشرة بإعادة صهر الزجاج الخالي من البلورات وسمح للصهارة أن تبرد ببطء. وبذلك أنتج صخوراً بلورية أو بلورية جزئياً، خشنة وحجرية في الملمس، تشبه عينات الصخور الأصلية. وأظهر أن هذه الصخور لها خصائص انصهار وتبلور مثل تلك الموجودة في البازلت تماماً.

إن إثبات أن انصهار الصخور البازلتية يعجل بلورات السيليكات عند التبريد كان ذا أهمية أساسية في تأسيس النظرية البركانية حول أصل البازلت. لكن إذا كانت صخور البازلت مجرد نتاج تجمد من انصهار السيليكات بدرجة حرارة عالية، فلا ينبغي أن يؤثر الاندماج التجريبي وإعادة التبلور للصخر على تركيبته الكيميائية.





لاختبار ذلك، قدم **هول** عينات من منتجات تجارب الانصهار إلى **روبرت كينيدي R. Kennedy** لتحليلها **الكيميائي** في عام 1805م، الذي وجد أن تركيبها له في الأساس **تركيب** الصخور الأصلية نفسه. وجّه عرض **هول**، الذي كان ذا أهمية أساسية في تأسيس النظرية **البركانية** لأصل البازلت، **ضربة** نهائية للنظرية **النبتونية** عن الأصل المائي **للپازلت** والغرانيت والصخور الأخرى ذات الأصل **البركاني**.

مع أن **هول** كان رائداً في العمل **التجريبي** على الصخور **التجريبية** ذات درجات الحرارة **العالية** والضغط العالي، إلا أنه لم يكن أول من أجرى تجارب على **الصخور المنصهرة**. أجريت تجارب الانصهار الأولى على **البازلت** من قبل العالم الإيطالي **فرانشيسكو دارييزو Francesco d'Arezzo** في عام 1670م، الذي صهر **حمم إتنا**. (Sigurdsson, 2000)

• أرض صلبة

استمر معظم علماء الجيولوجيا الذين درسوا النشاط البركاني في أوائل القرن التاسع عشر ومنتصفه في تصور كوكب الأرض أنه ذو قشرة صلبة وداخل منصهر إلى حد كبير، متأثرين بأفكار **ديكارت**. اعتبرت الحرارة داخل الأرض من بقايا الحرارة البدائية المركزية التي كانت تحتفظ بها الأرض في وقت تكوينها، وهو العرض الذي كان يتضاءل بمرور الزمن الجيولوجي.

طوّرت فكرة الحرارة المركزية البدائية بشكل أساسي من ملاحظة زيادة درجة الحرارة مع العمق في الأرض، بناءً على القياسات في المناجم وثقوب الحفر. أدت هذه الملاحظات إلى النظرية القائلة بأن الأرض بدأت ككرة





منصهرة، وأنها بدأت في التبرّد منذ ذلك الحين. لكن إذا كان الجزء الداخلي من الكرة الأرضية منصهراً، فيجب أن يخضع **لجاذبية الشمس والقمر، وستكون هناك حركة قليلة أو معدومة لسطح الأرض والمحيطات، أي لا يوجد مد بحري**. أصبحت استجابة الأرض **لقوى المد والجزر** اختباراً حاسماً لفرضية الأرض المنصهرة. كان **الفيزيائي الفرنسي أندريه ماري أمبير** A. M. Ampere (توفي 1836م) أوّل من أشار عام 1833م إلى أن ملاحظات **حركة المد والجزر** لا تدعم فرضية **السوائل الداخلية**.

من عام 1839م إلى عام 1842م حلل **وليم هوبكنز** W. Hopkins (توفي 1866م) تأثيرات **القمر والشمس على محور دوران الأرض**. وخلص إلى أن القشرة الخارجية **الصلبة** يجب أن تكون **بسمك** لا يقل عن **1500 كم**: (نحن بالضرورة **منقادون**، لذلك، إلى استنتاج أن المادة السائلة الفعلية للبراكين موجودة في الخزانات الجوفية ذات مدى محدود، وتشكل بحيرات جوفية، وليس محيطات جوفية). واصل **الطالب وليم طومسون (اللورد كلفن)**، دراسات **هوبكنز** الذي أظهر، على أساس **التأثيرات على الأرض من جاذبية الشمس والقمر**، أن الأرض كانت في الأساس **صلبة** ولذلك كانت أفكار **جيمس دوايت دانا** J. D. Dana (توفي 1895م) عن **(بحر النار السفلي) Undercrust fire-sea** غير مقبولة. لقد صار **الجيولوجيون حالياً في مأزق كبير**: لم يكن هناك دليل على وجود كتلة كبيرة من **الصهارة داخل الأرض**، ومع ذلك كان هناك حاجة لتزويد **الصهارة** لعدد لا يحصى من **البراكين عبر تاريخ الكوكب**. كيف يمكنك اشتقاق **الصهارة من باطن كوكب صلب؟**





كان يُنظر إلى بنية الأرض في مطلع القرن على أنها سلسلة من الأصداف أو الطبقات الصلبة متحدة المركز، مع طبقة خارجية بسماكة تتراوح بين 30 و 40 كيلومتراً ذات كثافة منخفضة من القشرة الجرانيتية (سيال) التي تشكل القارات. كان هذا تحته طبقة سميكة جداً (سيما أو الوشاح) من صخور فائقة الكثافة عالية الكثافة مع تكوين **الدوريتيت**، وأخيراً بواسطة اللب المركزي. أولئك الذين كانوا يبحثون عن منطقة منصهرة في الأرض كمصدر للصهارة يواجهون حالياً صورة **جيوفيزيائية** لداخلية صلبة إلى حد كبير. يبدو أن مصدر الصهارة في اللب المنصهر مستحيل، على عمق يزيد على **2900 كيلومتر** تحت السطح (Sigurdsson, 2000).

• ذوبان الضغط

اكتشاف أن الأرض تحت القشرة كانت صلبة في الأساس **قضى** تماماً على (**بحر النار السفلي**) الذي اقترحه دانا وآخرون كمصدر للصهارة التي تغذي براكين الأرض. يواجه العلماء حالياً مهمة إظهار كيفية اشتقاق الصهارة الساخنة من داخل أرض صلبة، وقد وجدوا في **علم الديناميكا الحرارية** حلاً جزئياً للمشكلة. في **السنوات الأولى من القرن الثامن عشر**، كان من المعروف أن الضغط يؤثر على درجة الحرارة التي ستخضع فيها المواد لتغير في الطور، مثل الانتقال من طور سائل إلى غاز، أو من مادة صلبة إلى مادة سائلة.





جرى تقدير التأثيرات المحتملة للضغط على ذوبان الصخور في الأرض نوعياً في وقت مبكر جداً في تطور الفكر الجيولوجي. ربما كان أول اعتراف بهذا التأثير الأساسي قد أنجز في عام 1802م بواسطة جون بلايفير J. Playfair (توفي في 1819م)، وأشار إلى أنه كما يؤثر التغيير في الضغط على درجة غليان الماء، فإن الذوبان في الأرض يتأثر بالضغط الكبير الذي تمارسه الصخور التي تعلوها.

الشخص التالي الذي تناول أهمية الضغط في الأنظمة البركانية كان جورج بوليت سكروب G. P. Scrope (توفي في 1876م). بحلول عام 1825م في عمله (اعتبارات حول البراكين Considerations on Volcanos)، أدرك سكروب تأثير الضغط على قابلية ذوبان الماء في الصحارة، وكان من أوائل من أشار إلى أن انخفاض الضغط على الصحارة الغنية بالمياه يمكن أن يفسر الانفجارات البركانية بسبب إطلاق الماء المذاب. وجادل أيضاً بأن تغيير الضغط يمكن أن يؤدي إما إلى ذوبان الصحارة إما تبلورها، دون تغيير في درجة الحرارة: (بعد أن نظرنا حتى الوقت الحالي في تأثير زيادة درجة الحرارة، أو تقليل الضغط، على كتلة من الحمم البركانية في ظل هذه الظروف، دعونا نفحص ما سيتبع من الاتجاه المعاكس؛ أي زيادة الضغط أو انخفاض درجة الحرارة. على الحمم الصلبة، من الواضح أنه لن يحدث أي تغيير مماثل؛ لكن كل انخفاض في درجة الحرارة، أو زيادة في الضغط، على كتلة، أو جزء من الكتلة، مُسال بالطريقة المذكورة أعلاه، يجب أن يتسبب في تكثيف جزء من البخار الذي ينتج سيولته، وحتى الوقت الحالي يميل إلى التأثير إعادة تماسكها).





اقترح سيميون دينيس بواسون S. D. Poisson (توفي 1840م) في عام 1835م أن الضغط المرتفع بشكل مفرط في عمق باطن الأرض سيؤدي إلى تصلب المواد الصخرية عند درجات حرارة أعلى بكثير من الضغوط المنخفضة بالقرب من السطح.

بينما كان بلايفير وسكروب يكافحان مع نهج نوعي لمسألة تأثير الضغط على الذوبان، جرى تطوير نهج أكثر أناقة وكمية في فرنسا وألمانيا، بمناسبة ولادة الديناميكا الحرارية. من عمل الفرنسي سعدي كارنو S. Carnot (توفي 1832م)، رودولف كلاوسيويس R. Clausius (توفي 1888م)، وبينوا بيير إميل كلابيرون B. P. E. Clapeyron (توفي 1864م) جاءت معادلة كلاوزيوس-كلابيرون، التي تحدد العلاقة بين درجة الحرارة والحجم والضغط للمادة:

$$\frac{dT}{dP} = \frac{T \Delta V}{\Delta H}$$

ضع في اعتبارك مرحلتين من المادة الكيميائية نفسها، على سبيل المثال، سائل وصلب (الصهارة والصخور)، في حالة توازن مع بعضهما بعضاً عند درجة الحرارة T والضغط P. عن طريق توفير الحرارة ببطء للنظام، يتغير أحد الطورين بشكل عكسي إلى آخر لجلب حول الذوبان، مع بقاء النظام في حالة توازن. في المعادلة، يمثل الكسر dT / dP معدل تغير نقطة الانصهار T مع التغير في الضغط P.

تمثل القيمة V تغير الحجم عند الانصهار وتكون موجبة بشكل عام (أي أن الحجم المحدد للمادة الصلبة أصغر من حجم السائل المقابل)، بينما





القيمة ΔH هي التغير في الإنتروبيا Entropy أو القصور الحراري (مقدار الطاقة في النظام الفيزيائي التي لا يمكن استخدامها لإنتاج شغل). تعبّر المعادلة عن اختلاف الضغط ودرجة الحرارة لنظام في حالة توازن. يعكس حجم وعلامة منحدر منحنى الانصهار dT / dP ، حجم وعلامة تغير الحجم ΔV ، للمادة المعنية عند التصلب أو التجميد.

تبين في وقت مبكر من القرن الثامن عشر، في تجارب الذوبان والتبلور، أن الحجم المحدد للصخور البركانية مثل البازلت أقل من حجم الصهارة المقابلة. فسّر العديد من الجيولوجيين الذين درسوا البازلت العمودي تركيبته بشكل صحيح كدليل على انكماش الصهارة عند التبريد والتصلب إلى الصخور. أثناء التبريد والتصلب، تقلصت المادة في الحجم، مكونة أعمدة سداسية تقريباً مفصولة بنمط من مفاصل الانكماش.

وهكذا كان من الواضح أن الرمز V في معادلة كلاوزيوس-كلايرون كان موجباً، وبالتالي، فإن المعادلة تتنبأ بأن منحنى انصهار الضغط ودرجة الحرارة (dT / dP) للصخور المصدر للصهارة البازلتية له ميل إيجابي في الأرض، أي أن درجة حرارة الذوبان تزداد مع الضغط. كان هذا التفسير للبازلت العمودي متسقاً مع النتائج التجريبية للكيميائي الألماني غوستاف بيشوف في عام 1837م، الذي أجرى أحد القياسات الأولى على تغيير حجم البازلت والصخور البركانية الأخرى عند الاندماج وأظهر أن الصخور تنكمش عند التصلب من الصهارة. وخلص إلى أن انصهار صخور الغرانيت تقلص بنسبة 25% عند التصلب، وتقلص الأنبوبة الهوائية بنحو 18%، والانصهار البازلتي 11%.





كان الكيميائي الألماني الآخر، روبرت بنزن R. Bunsen (توفي 1899م)، من أوائل الذين جربوا العلاقة بين الضغط ونقطة انصهار المواد. سمحت المرافق المخبرية المتاحة في زمن بنزن (عام 1850م) بتحقيق ضغوط متواضعة فقط، وهو ما يعادل تقريباً الضغط على عمق ميل واحد في المحيط. لذلك أجرى تجاربه على مواد ذات درجة انصهار منخفضة نسبياً، مثل: العنبر والبارافين، واستقراء هذه النتائج إلى الضغوط العالية ودرجات الحرارة السائدة في أعماق الأرض.

أظهر عمله أن زيادة الضغط بمقدار 100 ضغط جوي فقط زادت من درجة انصهار هذه المواد بعدة درجات مئوية. في الوقت نفسه تقريباً عام 1851م، بدأ وليم هوبكنز في تجربة جيمس جول J. Joule (توفي 1889م)، واللورد كلفن، ووليم فيرييرن W. Fairbairn (توفي 1874م)، حول تأثيرات الضغط على تصلب باطن الأرض. يولد جهاز رافعة كبير ضغطاً يصل إلى 5400 ضغط جوي، أي ما يعادل الضغط على عمق 15 كم تقريباً في الأرض. في البداية كانت التجارب على مواد ذات درجة انصهار منخفضة، مثل شمع العسل والعنبر، وأكدت بشكل أساسي عمل بنزن.

لقد أثبت هؤلاء الرواد أن مادة صلبة ساخنة مثل الصخور الموجودة في أعماق الأرض يمكن أن تبدأ في الذوبان تلقائياً إذا انخفض الضغط، دون إضافة حرارة. لقد اكتشفوا أخيراً سر توليد الصهارة في أرض صلبة: إنه ذوبان ضغط التحلل. لكن حل مشكلة ما أدى إلى خلق مشكلة أخرى أكثر صعوبة: ما الآلية التي تؤدي إلى تخفيف الضغط؟ جرى طرح بعض الاقتراحات البارعة لحل هذه المشكلة.

في عام 1878م، وجد الجيولوجي الأمريكي كلارنس كينغ C. King (توفي 1901م)، وإدراكاً منه أن التخفيف المحلي للضغط يؤدي إلى الذوبان في الأرض،



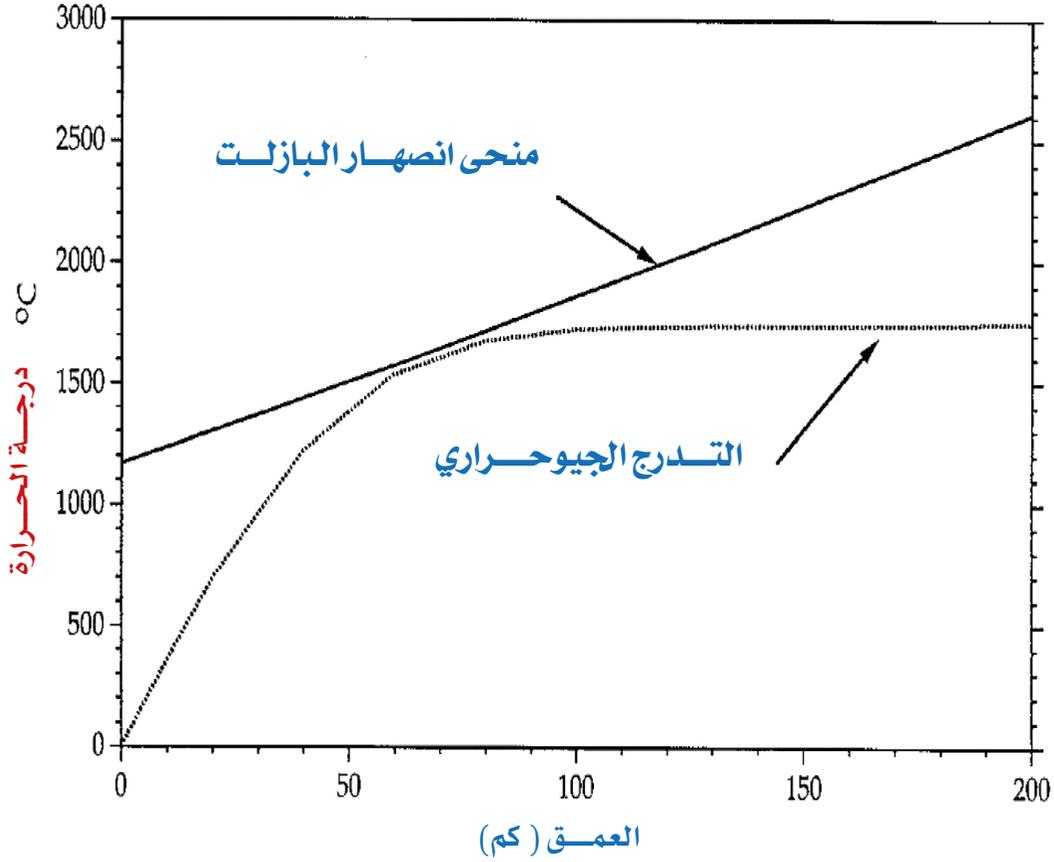


اقترح أن إطلاق الضغط يمكن أن يحدث مع تآكل وإزالة الصخور القشرية العلوية (بحيث تكون البحيرات المعزولة من المادة المنصهرة، التي يبدو أنها ضرورية للوفاء بالظروف الجيولوجية المعروفة قد تكون نتيجة مباشرة للتعرية).

بدا هذا منطقياً تماماً في ذلك الوقت، لكن إذا كان هذا صحيحاً، فإن معدل التآكل في منطقة معينة يجب أن يحدث بمعدل أعلى من معدل التوصيل الحراري من الصخور الساخنة الصاعدة. لم تدعم الأدلة الجيولوجية هذه النظرية لسببين: أولاً: العديد من المناطق الجبلية، حيث تكون التعرية في أعلى مستوياتها، لا تظهر عليها علامات البراكين؛ وثانياً: معدل تخفيف الضغط بسبب التآكل بطيء جداً لدرجة أن الحرارة المفقودة من خلال التوصيل تمنع الذوبان في العمق.

بصفته مديراً للمسح الجيولوجي الأمريكي، عزز كينغ التجارب الأساسية لكارل باروس C. Barus (توفي في 1935م) على الصخور تحت ضغط عالٍ. حدد باروس تغير الحجم والحرارة الكامنة للبازلت عند الذوبان. وخلص إلى أن الكسر dT / dp في معادلة كلاوزيوس-كلايرون كان يعادل 0.025 للبازلت، أي أن نقطة الانصهار تزداد بمعدل 2.5 درجة مئوية لكل زيادة ضغط بمقدار 100 ضغط جوي. في عام 1893م، كان كارل باروس أيضاً أول من حدد منحني ذوبان البازلت كدالة للضغط، مما مكن كينغ من اقتراح وجود تدرج حراري للأرض (Sigurdsson, 2000).





في نهاية القرن التاسع عشر، جرى حساب حرارة الأرض من قبل كلارنس كينغ وآخرين. كما جرى تحديد درجة حرارة انصهار البازلت كدالة للضغط بشكل تجريبي بواسطة كارل باروس. كان من المفترض أن انصهار وشاح الأرض حدث في نطاق العمق حيث اقترب التدرج الحراري الأرضي من منحنى انصهار البازلت، أي في نطاق عمق نحو 60-80 كم تحت السطح. (Sigurdsson, 2000)

في عام 1909 لخص الجيولوجي البريطاني ألفريد هاركر A. Harker (توفي في 1939م) رأيه في توليد الصهارة في كتابه (التاريخ الطبيعي للصخور النارية): (الأجزاء المعلقة من القشرة حيث تكون الصخور الصلبة والمصهورة في حالة





توازن حراري تقريباً. وبالتالي، يقودنا خط مستقل من التفكير إلى المبدأ المعلن بالفعل، الذي يربط الفعل البركاني في المقام الأول بالإجهادات القشرية، وبالتالي بشكل ثانوي مع الحركات القشرية).

علاوة على ذلك (عند العمق الكافي، تسود ظروف درجة الحرارة هذه بحيث تكون الصخور الصلبة والسائلة في حالة توازن حراري تقريبي. أي تخفيف محلي للضغط داخل تلك المنطقة، مرتبط بإعادة توزيع الضغط في القشرة، يجب أن يؤدي إلى الانصهار). كانت هذه التصريحات تعبيراً قاطعاً عن المبدأ الأساسي للذوبان، لكن ما كان ينقصه هو الآلية التي أدت إلى تخفيف الضغط.

لم يكن جميع الجيولوجيين مستعدين لتبني هذا كحل لأصل الصحارة؛ لأن العملية الجيولوجية القابلة للحياة التي يمكن أن تؤدي إلى انخفاض الضغط لم تكن معروفة. في عام 1933م صرح الجيولوجي الأمريكي ريجينالد ألدورث دالي (توفي 1947م): (بأن التخفيف المحلي للضغط غير كافٍ بشكل يأس ولا يحتاج إلى مزيد من المناقشة). وبالمثل قال صموئيل جيمس شاندر S. J. Shand (توفي 1957م) عام 1949م إن تأثير الضغط على ذوبان السيليكات كان (كمية لا تكاد تكون كبيرة بما يكفي ليكون لها أي عواقب بترولوجية مهمة).

كان التقدم الذي أُحرز في فهم الانصهار والتكوين الداخلي للأرض بحلول الجزء الأول من القرن العشرين عميقاً فعلاً، لكنه أوجد مفارقة. كانت جميع الأدلة تذهب لصالح وجود قشرة داخلية صلبة أو قشرة سميكة جداً، ومع ذلك كانت هناك حاجة لتفسير الصحارة التي اندلعت من البراكين. اكتشف





التجريبيون والجيوفيزيائيون عملية يمكن من خلالها أن يحدث الانصهار ببساطة عن طريق إزالة الضغط، لكن الجيولوجيين لم يتمكنوا من إيجاد آلية مقبولة لإزالة الضغط لإنتاج هذا الانصهار (Sigurdsson, 2000).

• تحريك القدر: الحمل الحراري

تسبب اكتشاف النشاط الإشعاعي في إثارة ضجة كبيرة بين العلماء، الذين سرعان ما طبقوه لفهم الأرض. عندما اكتشف بيير كوري P. Curie (توفي 1906م) في عام 1903م أن المواد المشعة تنبعث منها حرارة، كان الفيزيائي الأيرلندي جون جولي J. Joly (توفي 1933م) أول من أشار إلى أن وفرة وتوزيع الراديوم والعناصر المشعة الأخرى قد تحدد الحرارة الأرضية.

في عام 1910م بدأ العالم الجيولوجي البريطاني آرثر هولمز A. Holmes (توفي 1965م) دراسة النشاط الإشعاعي الطبيعي للصخور، ومن ثم بدأ حياته المهنية التي من شأنها أن تقدم مساهمة كبيرة في كل من فهم توزع الحرارة وانصهار الأرض عن طريق التدفق الحراري للصخور الصلبة نحو السطح. بحلول عام 1915م، قام هولمز بحساب ملف تعريف درجة حرارة الأرض بناءً على التوليد الإشعاعي للحرارة.

بعد اكتشاف النشاط الإشعاعي كمصدر داخلي للحرارة، أصبح من الأهمية بمكان إنشاء الوسائل الرئيسية لفقدان الحرارة من الكوكب. كيف يجري نقل هذا التدفق الكبير للحرارة من عمق الأرض نحو السطح؟ اقترح هولمز أن الحمل الحراري هو الآلية الأكثر فعالية لنقل الحرارة من العمق إلى السطح. تعود هذه





الفكرة إلى أوزموند فيشر O. Fisher (توفي 1914م)، الذي اقترح عام 1881م، في الأرض ذات الداخل المنصهر تماماً، أن هناك تياراتٍ حراريةٍ ترتفع تحت المحيط وتهبط تحت القارات. في عام 1928، اقترح هولمز أن الحرارة الزائدة يجري تفريغها من الأرض عن طريق تدوير المواد في الطبقة السفلية الصلبة، أو وشاح الأرض، مكونة تيارات الحمل الحراري. كان يُنظر إلى الحمل الحراري، وبالتالي الانجراف القاري، على أنهما آلية لتخليص الأرض من الحرارة الهائلة الناتجة عن المفاعل الطبيعي المشع. لقد اعتبر هذه الطبقة السفلية صخرة صلبة من البريدوتيت، التي يمكن أن تتدفق مثل السائل بمعدل معقول لعملية الأرض العميقة - نحو 5 سم / سنة.

تضمن مخطط هولمز تيارات هابطة أسفل خطوط الأرض، والأحواض الرسوبية الكبيرة التي نعرفها اليوم كمناطق اندساس، والتيارات الصاعدة تحت (تضخم) منتصف المحيط، حيث يحدث (تصريف قدر كبير من الحرارة) بسبب صعود البريدوتيت. وشاح، وإزالة ضغط، وانصهار. كانت آراء هولمز في عام 1928م حديثة بشكل مثير للدهشة ووضعت الأسس لمفهوم الصفائح التكتونية، مع أن علماء الأرض لم يعترفوا بذلك بشكل عام.

كان لمفهوم الصفائح التكتونية فترة حمل طويلة، وقد بدأ مع الإدراك في القرن السابع عشر أن البراكين والزلازل تتوزع في أحزمة خطية كبيرة فوق الأرض. هذا الاتجاه المنهجي للبراكين ومناطق الزلازل، وترتيب القارات، أدى في النهاية إلى النظرية المعروفة باسم (الانجراف القاري) في أوائل القرن العشرين.





أول خريطة توضح التوزيع العالمي للبراكين رسمها أثناسيوس كيرشر Athanasius Kircher (توفي 1680م) في عام 1665م. مع انتشار المعرفة الجغرافية، ظهرت صورة أكثر دقة بشكل تدريجي، وهي واحدة من الترتيب المنتظم أو الخطي أو المنحني للبراكين على سطح الكرة الأرضية. تعود الأفكار المتعلقة بالعلاقة بين النشاط البركاني والهياكل الرئيسية والتكتونية إلى ألكسندر فون همبولت A. von Humboldt (توفي 1859م) عام 1822م، الذي أشار إلى أن الترتيب الخطي للبراكين على الأرض كان دليلاً على أن الآلية التي تولد البراكين كانت سمة عميقة الجذور.





يظهر من خلاله اليسوعي الألماني أثناسيوس كيرشر كيفية خروج الصهارة من البراكين. كان هذا المنشور عن جغرافية الأرض هو الأول من عدة كتب كان كيرشر قد طبعها في أمستردام عام 1665م لتجنب الرقابة الرومانية. في هذا المنشور الرائع، جمع بين الفلسفة الطبيعية القديمة والوسطى مع ملاحظاته





الخاصة. لقد تخيل (العالم الجغرافي) ككائن حي، واكتشف نظاماً مزدوجاً من القنوات والغُرف التي تحتوي على الماء والنار، التي شكلت الأساس لبقية العالم الجوفي. لم تكن نظرياته مدينة فقط لأسلافه، مثل أفلاطون وسترابو في العصور القديمة والألماني جورج أغريكولا في القرن السادس عشر، لكن أيضاً لليسوعيين المعاصرين من أمريكا الجنوبية.

(<https://theo.kuleuven.be/apps/press/theologyresearchnews/2020/12/04/manuscripts-the-mundus-subterraneus-of-athanasius-kircher/>)

في عام 1858م جمع روبرت ماليت R. Mallet (توفي 1881م) أول خريطة توضح التوزيع العالمي لكل من الزلازل والانفجارات البركانية في (حلقة أو نطاق واسع حول المحيط الهادئ)، مما يشير إلى وجود مصادفة قوية في توزيعها الجغرافي. كما أدرك أيضاً أن معظم الأرض، وخاصة المناطق الداخلية للقارات، خالية على ما يبدو من الزلازل والنشاط البركاني. قام بتقسيم الأرض إلى سلسلة من الأحواض، مفصولة بـ (التلال الحزامية) Girdling ridges، التي توجد حتى في قاع المحيط: (إنها تقع على طول هذه التلال المتعرجة، سواء أكانت سلاسل جبلية أم مجرد ارتفاعات منتفخة مستمرة من المواد الصلبة، التي تفصل هذه الأحواض تحت سطح المحيط عن بعضها بعضاً، بحيث يعثر على جميع البراكين المعروفة بوجودها على سطح الأرض، منتشرة على طول هذه التلال أو القمم بطريقة غير متكافئة وغير مؤكدة. واعتبر هذه النتوءات (نطاقات بركانية خطية تحت المحيط) التي تشير إلى (الخطوط العظيمة لتصدع قشرة الأرض).





ربما كان اعتراف ماليت بتوزيع هذه **الهيكل الجيولوجية**، التي أصبحت حالياً أساساً لنظرية الصفائح **التكتونية**، هو الأقدم على الأرجح.

تزامن التعرف على **الخطية للبراكين** ومناطق **الزلازل** مع نظرة **تعبئة للأرض** في نهاية القرن، وهي وجهة نظر تستند إلى كل من المنطق **الجيوفيزيائي** والأدلة **الجيولوجية**. جادل **أوزموند فيشر** في عام 1881م بأن **تبريد الأرض** لا يمكن أن يحدث فقط من خلال عملية التوصيل، كما اقترح **كلفن**، لكن نتج **جزئياً** عن تيارات الحمل الحراري في طبقة **سفلية مرنة**.

من وجهة نظر فيشر، أدت تيارات الحمل هذه إلى حركة جانبية **للقشرة** التي تعلوها، وهو ما يمثل الكثير من **خصائص** سطح الأرض، بما في ذلك الترتيب الخطي **للبراكين والزلازل والسلاسل الجبلية**. تبلورت أفكار الأرض **المتقلة** لأول مرة بصورة نظرية **متناسكة عن الانجراف القاري** في عام 1912م بواسطة **ألفريد فيغنر** A. Wegener (توفي في 1930م). كان **آرثر هولمز** أحد أولئك الذين وقفوا إلى جانب **فيغنر**، الذي **عزز النظرية** بشكل كبير من خلال اقتراحه في عام 1928م آلية **انتقال حراري أكثر معقولة** لحركة القشرة الأرضية مما طرحه **فيغنر**. تضمنت آلية **هولمز** تدفق أو ارتداد وشاح الأرض، مما **يوفر** عملية يجري من خلالها **تخفيف الضغط عن الوشاح الساخن**، مما يؤدي إلى الانصهار والبراكين. كان **الانجراف القاري** نتيجة حتمية لهذا **الدوران**، لكن العملية كانت أوسع نطاقاً **بكثير**: فقد تضمنت الحركة **الجانبية** للقشرة **المحيطية** أيضاً. بحلول عام 1931م، كان **هولمز** قد وضع نظرية كاملة عن **الانجراف القاري**، وانتشار **قاع البحر** والاندساس، بناءً على هذه **الآلية**. كما فرق **هولمز** بين





القشرة الغرانيتية إلى حد كبير في القارات والقشرة البازلتية في المحيطات. واعتبر أن الوشاح الموجود أسفل القشرة المحيطية هو الأكثر ترجيحاً لتكوين البريدوتيت، وجادل بأنه مع أنه ربما كان بلورياً وبالتالي شديد الصلابة، إلا أنه يحوي على بعض خصائص السائل في سياق أبعاده الكبيرة.

كما اقترح أن خلايا الحمل الحراري لها أبعاد على مستوى الوشاح، يبلغ عمقها نحو 2900 كيلومترا، وأن أطرافها الصاعدة ترتفع تحت المحيطات، حيث تولد (انتفاخات) محيطية مماثلة لمفهومنا الحديث عن ارتفاعات منتصف المحيط. ترافقت التيارات الصاعدة التي اقترحها مع تخفيف الضغط والانصهار الجزئي للبريدوتيت، لتشكيل الصهارة البازلتية، مما أدى إلى ظهور البراكين.

تسببت التيارات الهابطة في الوشاح عن طريق غرق الصخور عالية الكثافة. كانت العملية التي أوجزها في الأساس مماثلة للمفهوم الحديث للاندساس: يؤدي تقارب الصفائح القشرية على الأرض إلى انزلاق صفيحة واحدة وهبوطها في عمق الوشاح. قدر هولمز أن سرعات تيار الحمل الحراري كانت في حدود 5 سم / سنة، التي، كما جرى اكتشافها في الستينيات، تقع تماماً ضمن نطاق معدلات انتشار قاع البحر النموذجية.

مع قبول أفكار هولمز على نطاق واسع في بريطانيا العظمى، إلا أن أفكاره حول الحمل الحراري للأرض والأرض المتحركة لم يجري تبنيها بشكل عام في أي مكان آخر لبعض الوقت. عندما قبلت فكرة انتشار قاع البحر أخيراً من قبل غالبية علماء الأرض في الستينيات، جرى تجاهل مساهمة هولمز الأساسية بشكل متكرر. يجري تذكير المرء بالكلمات المخيفة للسير وليم





أوسلر W. Osler (توفي 1919م) : (في العلم يعود الفضل إلى الرجل الذي يقنع العالم، وليس للرجل الذي جاءت إليه الفكرة أولاً).

لكن هل الإقناع في العلم أهم من الاكتشاف؟ لقد وفر اكتشاف الصفائح التكتونية حالياً الآلية التي طال انتظارها لإزالة الضغط في وشاح الأرض، وهي العملية الأكثر أهمية التي تؤدي إلى ذوبان الصهارة وتوليدها. من الواضح أنها الآلية التي تولد الصهارة تحت حواف منتصف المحيط للأرض، وبالتالي فهي مسؤولة عن معظم النشاط البركاني على كوكبنا (Sigurdsson, 2000).

• ولادة علم البترول

من بين أولى الملاحظات على المحتوى المعدني أو الصخور البركانية كانت دراسات الجيولوجي الألماني ليوبولد فون بوخ L. von Buch (توفي 1853م) في عام 1799م على الصخور البركانية بالقرب من روما. استنتج فون بوخ أن بلّورات الـليوسيت قد تشكلت بينما كانت الحمم البركانية لا تزال سائلة، وقلل من أي فرضية تشير إلى أنها ترسبت من محلول مائي ودمجت لاحقاً في الصهارة. ومع ذلك، يتكون البازلت والصخور البركانية الأخرى من بلّورات صغيرة جداً، التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة أو حتى من خلال عدسة مكبرة.

لذلك لم يتمكن الجيولوجيون الرواد من التحقيق في البنية الداخلية لهذه الصخور وتحديد مكوناتها البلورية الدقيقة. أجريت الدراسة المجهرية للصخور البركانية لأول مرة من قبل بيير لويس كورديه P. L. Cordier (توفي 1861م) في عام 1815م، الذي سحق البازلت والصخور البركانية الأخرى إلى مسحوق





ناعم، وفصل الجزيئات المختلفة عن طريق عملية التعويم، وفحصها عن طريق الاختبارات الميكروسكوبية والكيميائية. وخلص إلى أن البازلت القديمة كانت تشبه إلى حد كبير الصخور البركانية الحديثة من حيث الملمس، وعلم المعادن، وخصائص أخرى، وهي خطوة مهمة في حل الجدل بين النبتونيين والبلوتونيين حول أصل البازلت.

بدأ فن صناعة المقاطع الرقيقة بتقطيع الخشب الأحفوري، لكن سرعان ما جرى تطبيق هذه الطريقة على الصخور. يمكن تقطيعها إلى شرائح رقيقة بحيث تكون شفافة، ويمكن التعرف على معادنها ودراسة قوامها بالتفصيل. بحلول عام 1829م، اخترع وليم نيكول W. Nicol (توفي 1967م) المجهر المستقطب واستخدم على نطاق واسع لدراسة البلّورات. كان هنري كليفتون سوربي H. C. Sorby (توفي 1908م) أول عالم جيولوجي يصنع أقساماً رقيقة من الصخور البركانية وغيرها من الصخور النارية للدراسة المجهرية.

كانت الخطوة الحاسمة الأخرى في دراسة الصخور البركانية هي تطوير التحليل الكيميائي. تعود دراسات التركيب الكيميائي للصخور البركانية إلى أعمال الإيطالي لازارو سبالانساني الذي تحدث عام 1794م عن التركيب الكيميائي للصخور البركانية في إيطاليا من ناحية نسبة الوزن من أكاسيد السيليكا الخمسة الرئيسية والألومينا والجير والمغنيسيا والحديد.

في عام 1805م، أبلغ الكيميائي الأسكتلندي روبرت كينيدي عن تحليلات كيميائية لصخور الحجر أو الصخور البازلتية. كان قادراً على إذابة البازلت عن طريق إذابة مسحوق الصخور بالبوتاس الكاوية عند درجة حرارة عالية في بوتقة





فضية. ثم بين أنه يحوي على 48% بالوزن من السيليكا، و 16% من الألومينا، و 9% من الجير، و 16% من أكسيد الحديد. شكلت المياه والمكونات المتطايرة الأخرى نحو 5%. ومن ثم، لم يجري احتساب نحو 6%. اشتبه كينيدي في أن هذا كان جزئياً (مادة ملحية)، وبعد روتين تحليلي مفصل، أظهر أنه يحوي على نحو 4% من الصودا. وهكذا كان يمثل 99% من المكونات الكيميائية للصخرة، وهو إنجاز عظيم في ذلك الوقت.

عندما بدأ علماء الجيولوجيا الأوائل في تجميع البيانات عن الصخور البركانية، اكتشفوا أن التركيب الكيميائي للصخور، حتى تلك الموجودة في البركان نفسه، يختلف اختلافاً كبيراً. في مواجهة مشكلة كيفية تفسير هذا التنوع، اقترح جورج بوليت سكروب في عام 1825م أن جميع أنواع الصخور النارية تشكلت من صهارة ذات أصل واحد، مما أدى إلى ظهور مجموعة متنوعة من الأنواع من خلال عملية التمايز قبل التبلور.

كان تشارلز داروين، مع ذلك، هو الذي وضع الأساس لعملية (التمايز الصهاري) Magmatic differentiation، من خلال اكتشافه للترسيب البلوري بسبب اختلافات الكثافة بين البلورات والسائل البركاني. أثناء استكشافه لأرخبيل غالاباغوس البركاني في عام 1835م، درس داروين تدفق الحمم البازلتية في جزيرة جيمس (حالياً سان سلفادور). وأشار إلى أن بلورات الفلسبار كانت أكثر وفرة في قاعدة الحمم البركانية منها في الجزء العلوي، واستنتج (أن البلورات تفرق من وزنها).





لاحظ الجيولوجي فون بوخ في عام 1818م تركيزاً مشابهاً للبلّورات في الجزء السفلي من تدفقات الحمم البركانية على تينيريفي في المحيط الأطلسي، مفسراً هذا على أنه استقرار البلّورات في الحمم البركانية أثناء التدفق وبعده. في أرصاده الجيولوجية على الجزر البركانية، اعتبر داروين هذه الملاحظة (إلقاء الضوء على فصل سلسلة صخور السيليكات العالية مقابل سلسلة الصخور منخفضة السيليكات). لقد أدرك أنه بمجرد أن تفرق البلّورات المتكونة في وقت مبكر، فإن الصهارة المتبقية ستكون مختلفة كيميائياً عن السائل الأولي.

جرى تطوير عملية أخرى بواسطة روبرت بنزن في عام 1851م لحساب النطاق الكيميائي للصخور البركانية، بعد اكتشافه اثنين من الصهارة في آيسلندا، بتركيب كيميائي مختلف جذرياً. صُدم بنزن بوفرة نوعين من الصخور البركانية: صخور بركانية صفراء ومتعددة الألوان غنية بالسيليكات (ريوليت)، وصخور بازلتية داكنة اللون.

كانت بعض الصخور البركانية ذات تكوين بسيط، واقترح أنها كانت نتيجة اختلاط الصهارة الصخرية الأساسية. تمثلت مساهمة بنزن في طرح أول فرضية قابلة للتطبيق التي يمكن أن تفسر تنوع التركيب الكيميائي للصخور البركانية عن طريق خلط اثنين من الصهارة الأولية: البازلت والريوليت.

كان سارتوريوس فون فالترسهاوزن S. von Waltershausen (توفي 1876م) يسافر مع بنزن في آيسلندا. وكان أول من ناقش توزيع وحدوث العناصر النادرة، بالإضافة إلى الأكاسيد الرئيسية في الصخور البركانية، وأدرج 23 عنصراً من العناصر النادرة.





في القرن الثامن عشر، أصبح السائل البركاني معروفاً باسم (الصهارة) Magma، وقد اشتق الاسم من الكلمة اليونانية التي تشير إلى كتلة مرنة، مثل عجينة من مادة صلبة أو سائلة. جرى استخدام مصطلح الصهارة في وقت مبكر في الصيدلة كما هو الحال في (صهارة المغنيسيا) Magnesia magma أو حليب المغنيسيا، وانتقلت الكلمة من الصيدلة إلى الكيمياء لتمثيل خليط معجون أو شبه سائل. من الكيمياء انتقلت إلى علم الصخور لتحل محل (الحمم الجوفية) Subterranean lava.

ما طبيعة هذا السائل داخل الأرض؟ أكد بنزن في كتابه (حول تشكيل الجرانيت Uber die Bildung der Granites)، أن الصهارة ليست أكثر من محلول عالي الحرارة لسيليكات مختلفة: (لن يفكر أي كيميائي في افتراض أن الحل يتوقف عن كونه حلاً عند تسخينه إلى 200 أو 300 أو 400 درجة، أو عندما تصل إلى درجة حرارة تبدأ عندها في التوهج، أو تصبح سائلاً منصهراً).

كان هذا اختراقاً أساسياً في التفكير في التبلور من الصهارة. أدرك بنزن كذلك أن المعادن تتبلور من الصهارة عند درجة حرارة أقل بكثير من درجة انصهار المعادن النقية. إذا كانت الصهارة محلولاً حقيقياً، فيجب أن تكون قادرة على الاختلاط، كما اقترح بنزن بالفعل على أساس عمله في آيسلندا.

خلال الجزء الأخير من القرن التاسع عشر، أصبح التحليل الكيميائي للصخور البركانية أمراً شائعاً. اعتبر كبار علماء البترول أن معظم الصخور النارية مشتقة من الصهارة البازلتية من خلال عملية تمايز، لكن لم يساهم أحد الباحثين في فهم العمليات التي تمثل التنوع الكيميائي للصخور النارية أكثر من عالم البترول الأمريكي نورمان إل بوين N. L. Bowen (توفي 1956م).





من تجارب درجات الحرارة العالية، اكتشف بوين أن الصهارة يمكن أن تتغير بشكل كبير في التركيب أثناء تبريدها، إذا تم فصل البلّورات المتكونة المبكرة بشكل فعّال عن السائل، مما يوفر دليلاً على عملية التبلور الجزئي التي اقترحها داروين لأول مرة. كان بوين مدافعاً قوياً عن التبلور الجزئي باعتباره العملية الأساسية المسؤولة عن التمايز، واعتبر أن الصهارة البازلتية كانت الصهارة الأولية أو الأم لجميع الصخور البركانية.

أصبح الفهم الجديد للتمايز الصهاري ممكناً من خلال إدراك بنزن أن الصهارة كانت محلولاً حقيقياً، ومفهوم داروين أن ترسيب البلّورات أدى إلى تغيير في تكوين السائل، وتجارب بوين المنهجية على تبلور سائل بازلتي أولي. لكن كيف، إذن، تشكل هذا السائل البازلتي الأولي؟

• مصدر الصهارة

طوال النصف الأول من القرن العشرين، وُجدت فرضيتان رئيسيتان حول طبيعة مصدر الصهارة. نظراً لأن النوع الرئيس من الصهارة التي اندلعت هو البازلت، فقد بدا منطقياً للبعض أن منطقة المصدر كانت أيضاً بازلتية التكوين، وربما شكّل الضغط العالي من البازلت المعروف باسم (إيكولوجايت) Eclogite. ثم يجري اشتقاق الصهارة البازلتية عن طريق انصهار المصدر بالجملة.

كان الرأي الآخر هو أن الصهارة مشتقة من الانصهار الجزئي للبريدوتيت. لقد لوحظ منذ فترة طويلة أن الصخور الدخيلة Xenoliths من كل من البريدوتيت وإيكولوجايت جرى إخراجها من بعض البراكين. نظراً لأنها نشأت في الصهارة، بدا منطقياً أن هذه الأنواع من الصخور قد تكون مؤشراً على منطقة المصدر.





في وقت مبكر من عام 1879م، جرى اقتراح أن البريدوتيت كان مصدراً للصحارة البازلتية، وبحلول عام 1916م اقترح آرثر هولمز أن الصحارة نتجت عن انصهار البريدوتيت على عمق عدة مئات من الكيلومترات.

في بداية القرن العشرين، كانت القياسات الجيوفيزيائية تعطي نتائج لصالح مصدر البريدوتيت. وقد حدث ذلك عن طريق قياس الخصائص الفيزيائية لعدد من أنواع الصخور في المختبر تحت ضغط ودرجة حرارة عالية. وبمقارنة هذه النتائج بسرعة موجات الزلازل التي تنتقل عبر عمق الأرض، تبين أن خصائص باطن الأرض يمكن مقارنتها بخصائص البريدوتيت والصخور فوق القاعدية الأخرى تحت ضغط كبير في المختبر. لذلك تبنى الجيوفيزيائيون عموماً تركيبة البريدوتيت للوشاح.

اقترح بوين عام 1928م أيضاً أن نوع الصخور الوحيد الذي يمكن أن يؤدي إلى الصحارة البازلتية عن طريق الانصهار الجزئي هو البريدوتيت، واقترح أن هذا النوع يحدث على أعماق 75-100 كم. ثم تناول بوين مسألة ما إذا كان الذوبان الجزئي قد حدث نتيجة لإعادة التسخين أو بسبب تحرير الضغط. نُشرت أفكار آرثر هولمز حول التدفق الحراري في الوشاح في العام نفسه الذي نُشر فيه عمل بوين الكلاسيكي، لكن بدا بوين غير مدرك لها. نظراً لعدم وجود آلية معقولة لإحداث تحرير للضغط، قال: (يبدو أنه من الضروري ترك السؤال مفتوحاً عما إذا كان الاندماج الانتقائي يحدث نتيجة لتحرير الضغط أو نتيجة لإعادة التسخين). لذلك واجه صعوبة كبيرة في تطوير سيناريو الانصهار المحرر للضغط في عباءة البريدوتيت. فقط مع تطور الديناميكا الجيوديناميكية





وقبول نظرية هولمز للحمل الحراري، يمكن إثبات أن وشاح البريدوتيت يمكن أن ترتفع إلى مناطق ذات ضغط منخفض، مما يؤدي إلى الانصهار دون إضافة حرارة.

لا تزال نظرية الانصهار الجزئي للبريدوتيت موضع نقاش واعتبرها الكثيرون في النصف الأول من القرن العشرين أنها قائمة على أساس ضعيف. تبنت مجموعة أخرى من الجيولوجيين وجهة نظر مختلفة تماماً، وأكدوا أن الصهارة البازلتية مشتقة من طبقة عميقة ذائبة أو من الانصهار الكامل لطبقة بازلتية في أعماق الأرض. استمر هذا الرأي مع البعض حتى الستينيات. في كتاب مؤثر عن البراكين، اقترح ألفريد ريتمان A. Rittmann (توفي 1980م) في عام 1936م أن جميع الصخور البركانية مشتقة في النهاية من طبقة عالمية من الصهارة البازلتية.

جرى تبني آراء ريتمان من قبل عالم البترول توماس بارت T. Barth (توفي 1971م) في عام 1951م: (حقيقة أنه أينما كانت القشرة متصدعة بشدة، سواء أكانت في القارات أم المحيطات أم خطوط الأرض، فإن الصهارة البازلتية متاحة وقادرة على الغزو هي دليل على وجود طبقة الصهارة البازلتية الفرعية. كان يدرك تماماً اعتراضات الجيوفيزيائيين، بأن مثل هذه الطبقة لا يمكنها نقل بعض الموجات الزلزالية، على عكس الملاحظات، واقترح أن الصهارة البازلتية تتصرف مثل الزجاج عند الضغط العالي تحت قشرة الأرض، وبالتالي كانت قادرة على نقل هذه الموجات. في عمله عام 1962م (حول علم الصخور النظري)، صرح بارت قائلاً: (من الضروري، بالتالي، أن تكون الطبقة البازلتية في حالة منصهرة غير بلورية في موقعها الجوي. وإلا فلن تصل إلى السطح بتركيبة متجانسة كما نلاحظ بالفعل).





قبل الجيولوجيان الأمريكيان فرنسيس جون تورنر F. J. Turner (توفي 1985م) وجون فيرهوغن J. Verhoogen (توفي 1993م) الدليل الزلزالي لطبيعة صلبة وشاح الأرض في عام 1951م، واعتبرا أنه مكون إما من الزبرجد إما الإيكلوجايت. تبع ذلك أن الصحارة البازلتية الأولية كان لا بُدَّ من اشتقاقها من وشاح صلب إلى حد كبير، التي كان تكوينها مختلفاً عن البازلت. واعتبراه مكوناً إما من البريدوتيت إما من الإيكلوجايت.

يمكن أن تؤدي الزيادة الملحوظة في درجة الحرارة مع العمق وتوليد الحرارة عن طريق التحلل الإشعاعي داخل الأرض إلى مصدر الحرارة المطلوب. في كتابهما الكلاسيكي عن (علم الصخور النارية والمتحولة)، ذكر تورنر وفيرهوغن: (إن مشكلة أصل الصحارة البازلتية ليست مشكلة إيجاد مصادر حرارة كافية بقدر ما هي مشكلة شرح كيف يمكن أن تتركز كميات صغيرة نسبياً من الحرارة محلياً، لإنتاج جيوب صغيرة نسبياً من السائل في وشاح بلورية).

فيما بدا وكأنه لحظة عابرة، اعتبر تورنر وفيرهوغن الفرضية القائلة بأن الصحارة البازلتية يمكن أن تنتج عن طريق ذوبان عباءة الزبرجد بسبب إطلاق الضغط، لكن سرعان ما رفضاها: (ربما تكون فرضية توليد الصحارة هي الأكثر شيوعاً، مع أنه غير مقبول للكتاب الحاليين. من الصعب بالفعل رؤية كيف يمكن تقليل الضغط بشكل فعّال في مثل هذه الأعماق). لقد أدركا بالطبع أن الانصهار يمكن أن يحدث إذا حدث النقل الحراري لمواد الوشاح إلى مستويات أقل عمقاً، كما اقترح في الأصل آرثر هولمز.





كان من الواضح أن هذه آلية قابلة للتطبيق طالما كانت درجة حرارة الوشاح العميق أكبر من درجة انصهار الوشاح على عمق ضحل. ومع ذلك، لم يكونا مستعدين لقبول وجود الحمل الحراري في الأرض الصلبة، مما دفعهم إلى الاستنتاج: (ما إذا كان الحمل الحراري يحدث في الوشاح أم لا، ولا يُعرف ما إذا كان يمكن أن يكون فعالاً في الجزء العلوي من الأرض. الوشاح حيث يجري إنشاء الصحارة. وبالتالي، مع أن الحمل الحراري قد يؤدي إلى الذوبان، فلا يمكن إثبات ذلك، ولا تزال مشكلة توليد الصحارة محيرة كما كانت دائماً).

هذا البيان هو انعكاس جيد للوضع فيما يتعلق بنظريات توليد الصحارة في منتصف القرن العشرين. في حين جرى اتخاذ خطوات كبيرة في فهم كيمياء وعلم المعادن للصخور البركانية، كان علماء الأرض في حيرة من أمرهم لتفسير الانصهار. كان هذا يرجع بالكامل تقريباً إلى النظرة الثابتة التي جرى التقاطها لباطن الأرض في ذلك الوقت، بدا أنه من غير المعقول لمعظم الناس أن يكون الوشاح صلباً، وكيف يمكن للجسم الصلب حمله بالحمل الحراري.

ومع ذلك، فإن الاستكشافات التي أجريت في قاع المحيط في الستينيات وتطور الديناميكا الجيولوجية قد غير كل ذلك. مع أن الانصهار لم يكن مفهوماً جيداً في ذلك الوقت، إلا أن معرفة منطقة مصدر الوشاح كانت تتقدم من خلال دراسات الصخور الدخيلة. يتكون عدد كبير من الصخور الدخيلة من البريدوتيت، مما يعطي مزيداً من المصدقية لفكرة أن منطقة مصدر الصحارة البازلتية، وشاح الأرض، تتكون في الغالب من الزبرجد (Sigurdsson, 2000).





• دور الماء

لطالما اعتبرت **السحب** الكبيرة من الغازات والبخار **المنبعثة** من البراكين مشتقة من **المياه الجوفية** أو **المياه السطحية**، مثل: البحيرات أو الجداول القريبة أو **مياه البحر**. كان هذا واضحاً، وفقاً للعديد من العلماء، من موقع البراكين بالقرب من المحيط أو على الجزر. كان يُعتقد أن دور الماء حاسم في توليد الانفجارات المتفجرة، وله تأثير مهم على **لزوجة الصهارة**. في عام 1794م أدرك **سبالانزاني** أن العديد من الغازات مهمة في مناطق الحمم البركانية، بما في ذلك (غاز الهيدروجين، وغاز هيدروجين الكبريت، وغاز حمض الكربونيك، وغاز حامض الكبريت، والغاز الأزوتي).

لكنه أشار إلى عامل آخر أقوى هو (الماء، خاصة مياه البحر)، التي تتواصل عبر الممرات مع جذور البراكين. عند الوصول إلى الحرائق الجوفية، يتحول فجأة إلى بخار، ويتمدد **الغاز المرن** بسرعة، مما يتسبب في حدوث انفجارات بركانية. دعماً لفرضيته، على مستوى أكثر عملية، **استشهد سبالانزاني** بحوادث في **مصانع صناعة الزجاج**، حيث جرى صب الزجاج المنصهر في قوالب غير جافة تماماً أو خالية من الماء، مما تسبب في انفجارات بخارية مروعة.

في عام 1825م عزا **سكروب ميوعة** الصهارة إلى الماء: (ليس هناك شك كبير في أن العامل الرئيسي... يتكون من القوة الموسعة للسوائل المرنة التي تكافح للتأثير على هروبها من الداخل من كتلة تحت الأرض من الحمم البركانية، أو الأرض في حالة ميوعة عند حرارة شديدة). هذه (السوائل المرنة) تعتبر بخاراً بشكل أساسي وغيرها من الغازات البركانية. كان تمدد الغاز في الصهارة هو





الذي أدى إلى صعوده في القشرة الأرضية، وأدى إلى اندلاع عنيف و متفجر عند وصوله إلى السطح. كما ناقش **سكروب** بشيءٍ من التفصيل تطور البخار في الصحارة في العمق، وربما كان أول من أشار إلى أنه تحت ضغط كبير، **سيجري إحلال الماء** في الانصهار، لكن عند انخفاض الضغط أو زيادة درجة الحرارة، سيتبخر الماء، مما يؤدي إلى انفجار هائل. من زيادة درجة الحرارة مع العمق في المناجم، خلص **سكروب** إلى أنه على عمق كبير، كانت الأرض في حرارة شديدة، وأن هذا التراكم الكبير للسرعات الحرارية في أعماق الأرض أدى إلى استمرار تدفق السرعات الحرارية نحو السطح في محاولةٍ لتحقيق التوازن الحراري.

وهكذا اعتبر **سكروب** أن تكوين الصحارة يرجع إلى مرور السرعات الحرارية عن طريق التوصيل من الأعماق إلى المستويات العليا في الأرض، حيث أدت السرعات الحرارية إلى ذوبان الصخور. اقترح **سكروب** أن السرعات الحرارية في الصخور المنصهرة كانت إلى حد كبير بسبب الماء: (هناك كل الأسباب للاعتقاد بأن هذا السائل ليس سوى بخار الماء، مدمجاً بشكل وثيق مع المكونات المعدنية للحمم البركانية، وتطير بوساطة درجة الحرارة الشديدة التي يتعرض لها عند حدوث ظروف تسمح بتمدده).

نظريّة أن مياه المحيطات مشتقة من باطن الأرض بسبب تفرغ الغازات عبر البراكين. كميات كبيرة من الماء (تبقى متشابكة بينياً في المادة المكثفة) في الصخور العميقة، ويؤدي تسرب البخار أثناء الانفجارات البركانية إلى إطلاق كمية هائلة من السرعات الحرارية، مما يؤدي إلى التبريد السريع وتوحيد الصحارة على السطح.





بحلول عام 1865م قام الجيولوجي الفرنسي **فرديناند أندريه فوكيه** F. A. Fouqué (توفي 1904م) بقياس كمية المياه في المنتجات البركانية لإيتنا وقدر كمية البخار المتسرب من الفتحة. في الجزء الأخير من القرن التاسع عشر، بدأ **الجيولوجيون** في تطوير نماذج أكثر تعقيداً، مقترحين أن البخار المنبعث من الانفجارات البركانية كان بدائياً أو من أصل عميق، وليس مجرد مياه سطحية معاد تدويرها. وكان من بينهم **أوزموند فيشر** عام 1881م، الذي اعتبر الغازات البركانية مكونات أصلية للصهارة.

بدأ الدور المحتمل لهروب الماء من البراكين في تكوين المحيطات في الظهور على السطح كفرضية مهمة. اقترح عالم الجيولوجيا الألماني إدوارد **سويس** E. Suess (توفي 1914م) أن كل المياه في المحيطات والغلاف الجوي تأتي من إطلاق الغازات من باطن الأرض. وقد اقترح مفهوم إعادة التدوير البركاني للمياه من المحيط إلى الغلاف الجوي والعودة مرة أخرى إلى عمق الأرض من قبل **جون جود** J. Judd (توفي 1916م) عام 1881م، الذي أشار إلى أن البراكين تقع عموماً بالقرب من المحيط، وتكهن بأن الشقوق قد تنقل مياه البحر من المحيط، ومن المحيط إلى الصهارة في العمق.

قد يكون سبب (الانفجارات البركانية) هو أن الماء يجد طريقه إلى كتلة صخرية شديدة الحرارة، مما يؤدي إلى خفض درجة حرارة الانصهار والتسبب في الانصهار. اعتبر جود ارتفاع درجة الحرارة ووجود الماء والغاز من العوامل الرئيسية للفعول البركاني وجادل بأن الصهارة يمكن أن تمتص أو تذوب كميات كبيرة من الماء، التي تتسرب بعنف أثناء الثوران البركاني المتفجر، كما أشار





سبالانزاني لأول مرة. يمكن أن تمتص الصهارة الماء أو الغازات إما في البداية، كغازات بدائية أثناء تكوين الكرة الأرضية، إما في أي مرحلة في التاريخ الجيولوجي، بسبب تسرب الماء إلى القشرة الأرضية.

مع الاعتراف على نطاق واسع بالمياه في الصهارة، كان من المنطقي النظر في دورها في الانفجارات المتفجرة. في عصر البخار أثناء الثورة الصناعية في القرن التاسع عشر، أشار جون جود إلى أن (البركان هو نوع من المحركات البخارية الطبيعية الرائعة). كما قارن بوني عام 1899م البراكين بالمرجل، مؤكداً أن البخار في الصهارة هي القوة المتفجرة الرئيسة في ثوران البركان. وأشار إلى أن حجم البخار يقارب 1700 ضعف إذا شُغل على شكل ماء، وهذه قوة توسعية هائلة كافية لتفسير الانفجارات البركانية. ويرتبط أصل المياه البركانية، وفقاً لبوني، بقرب البراكين من المحيط وتغلغل مياه الأمطار في الصهارة. وشدد على أهمية إضافة الماء لخفض درجة انصهار الصخور، وتبع أوزموند فيشر وآخرون في عزو الثوران البركاني إلى وجود الماء. عندما ينضب الماء أو يسحب من النظام، يتوقف الاندفاع.

في الجزء الأخير من القرن الثامن عشر، حدد دولوميو أن العديد من الرواسب في إيطاليا وصقلية، التي بدت للوهلة الأولى وكأنها رواسب طبقيّة طبيعية، كانت في الواقع رواسب رماد بركاني مدمجة، وهي نتاج تداخيات الانفجارات المتفجرة. يؤدي تعطل الصهارة أثناء نفخها في الهواء إلى التفتت وتكوين الرماد البركاني والتيفرا والسكوريا وأشكال أخرى من مواد الحمم البركانية. نحن نعلم حالياً أن العامل الأساسي لهذا الاضطراب هو التمدد المتفجر للبخار. في





عام 1853م كان سارتوريوس فون فالترسهاوزن، رائداً حقيقياً في دراسة صخور الحمم البركانية، وهو أول من نسب تكوينها إلى تأثيرات الماء على الصحارة. واقترح أن الصحارة ترتفع وتندلع بسبب ضغط بخار الماء المتسرب من الصحارة وأن زيادة حجم بخار الماء كانت أيضاً مسؤولة عن عملية التفتت، تكوين وطرد الأكوام البركانية، مثل: الخفاف والرماد. كما أدرك أيضاً أن رواسب الصخور البركانية الغربية يمكن أن تنتج عندما تدخل الصحارة المحيط أو تنفجر تحت الماء. خلال أسفاره في صقلية عام 1835م، صادف أولاً طوفاً بنياً، كصخرة متجانسة، تتكون إلى حد كبير من معدن واحد. أطلق على الصخور اسم بالاغونيت Palagonite اسم بلدة بالغونيا Palagonia القريبة، ومن خلال التحليل الكيميائي حددها على أنها غنية بشكل غير عادي بالماء والحديد، مع نحو 12-23% بالوزن من المياه. أصبح فضولياً بشأن أصل الصخور، وأشار إلى أنها غالباً ما كانت مرتبطة بالرواسب البحرية، واقترح أنها منتج بركاني يشكل طبقات سميكة في العديد من التكوينات البركانية المغمورة. في عام 1846م درس هو وروبرت بنزن جبال البالاغونيت في آيسلندا، ولاحظ أن منطقة من نباتات البالاغونيت تمتد عبر آيسلندا.

في كثير من الأحيان بالاقتران مع البالاغونيت، لاحظ أنه كان مادة سوداء وخالية من الماء وشبيهة بالزجاج، تشبه حجر السبع، التي أطلق عليها اسم سيدروميلان Sideromelan. لقد كان قادراً على إظهار أن البالاغونيت هو في الأساس زجاج حديدي أو بازلتي قد امتص الماء، ومن موقعه الجيولوجي، فإن هذا البالاغونيت هو نتاج انفجارات بازلتية ضحلة تحت الماء أو تحت سطح البحر. كان فون والترسهاوزن محقاً في هذا الاستنتاج. نحن نعلم حالياً أن





صخور البالاغونيت الأيسلندية تتشكل من ثورات بركانية تحت الغطاء الجليدي السميك الذي غطى آيسلندا خلال العصر الجليدي الأخير، وأن البالاغوناييت الإيطالي اندلع في المحيط.

من ناحية أخرى، فقد اختلف بنزن مع فون وولترسهاوزن، معتبراً أن حواف البالاغونيت هي نتاج صخور بازلتية متحوّلة في وجود الكثير من الماء والكربونات. أظهر من خلال التحليل الكيميائي أن الحمم كانت متطابقة تقريباً مع الحمم البازلتية بعد طرح المحتوى المائي العالي. لم تقتصر دراسته على الصخور الأيسلندية، لأن تشارلز داروين كان قد أعطاه عينات من البالاغوناييت من جزر الرأس الأخضر Cape Verde islands.

الصخور البركانية الأخرى ذات التكوين البازلتية هي الصخور البركانية لكنها تتكون من أشكال مستديرة أو تشبه الوسادة. لا يؤثر أصل هذه الصخرة على الماء في الصحارة، بل على الصحارة الموجودة في الماء. يعود تحديد حمم الوسائد إلى سبعينات القرن التاسع عشر على الأقل. في وقت لاحق جرى اقتراحه على أساس الملاحظات في إيطاليا التي تتشكل بسبب ثوران الغواصة. لاحظ الجيولوجي البريطاني تيمبيست أندرسون T. Anderson (توفي 1913م) ثوراناً في ساموا، مشيراً إلى أنه عندما كانت الحمم البازلتية تتدفق إلى البحر، شكل المكون الغاطس للحمم البركانية كتلاً منتفخةً وفصوصاً على شكل وسائد.

بحلول عام 1914م، جرى إنشاء مصدر شبه مائي لحمم الوسائد. كان من المعروف بالفعل أنها موجودة في السجل الجيولوجي بالاقتران مع الرواسب البحرية في إسكتلندا، وكذلك كمنتجات للانفجارات تحت الجليدية، كما هو





الحال في آيسلندا . اكتشف علماء المحيطات فقط في الستينيات من القرن الماضي أن حمم الوسائد البازلتية تشكل أرضية معظم محيطات العالم، وبالتالي فهي الصخور البركانية الأكثر وفرة على الأرض لكنها أيضاً أبعدنا عن الدراسة .

عندما أجريت تجارب الانصهار عالي الضغط لأول مرة في بداية القرن العشرين، أصبح من الواضح أن الصهارة الموجودة في أعماق الأرض يمكن أن تحوي على قدر أكبر من الماء في المحلول، وأنه يجب تحرير هذه المياه عند اندلاعها على السطح. وفي عام 1903م كان كورنيليو دويلتر C. Doelter (توفي 1930م) من أوائل من اقترحوا أن الصهارة تحت ضغط كبير في قشرة الأرض قد تذيب الماء وأن الصهارة قد تصبح قابلة للانفجار عندما تصل إلى سطح الأرض .

دعماً لهذه النظرية، أجرى الجيولوجي الفرنسي أرماند غوتيه A. Gautier (توفي 1920م) تجارب معملية على النشاط البركاني عام 1906م، مشيراً إلى أن الصهارة ترتفع في القشرة نتيجة لتوسع الغاز، وعزا عنف الانفجارات البركانية إلى التحرر المتفجر للمياه من القشرة الأرضية والصهارة. بحلول أوائل القرن العشرين، جرى ترسيخ الأفكار الأساسية حول أسباب البراكين المتفجرة وأهمية الماء (Sigurdsson, 2000).





موسوعة العمري في علوم الأرض





المراجع العربيّة

بَحْشَل، أسلم بن سهل بن أسلم بن حبيب الرزاز الواسطي، أبو الحسن، تاريخ واسط، تحقيق: كوركيس عواد، ط 1، عالم الكتب، بيروت، 1986م.

الجبرتي، عبد الرحمن بن حسن، تاريخ عجائب الآثار في التراجم والأخبار، ط2، ج3، دار الجيل، بيروت، 1978م.

ابن الجوزي، سبط، مرآة الزمان في تواريخ الأعيان، ط1، ج 19، تحقيق وتعليق: محمد بركات، كامل محمد الخراط، عمار ربحاوي، محمد رضوان عرقسوسي، أنور طالب، فادي المغربي، رضوان مامو، محمد معتز كريم الدين، زاهر إسحاق، محمد أنس الخن، إبراهيم الزبيق، دار الرسالة العالمية، دمشق، 2013م.

الجاويش، محمد اسماعيل (2005). من عجائب الخلق في الكون العظيم. الدار الذهبية للطبع والنشر والتوزيع. القاهرة.

ابن الجوزي، عبد الرحمن بن علي بن محمد، المنتظم في تاريخ الملوك والأمم، ط1، دار الكتب العلمية، بيروت، 1992م.

الحنبلي، ابن العماد، شذرات الذهب في أخبار من ذهب، حققه: محمود الأرناؤوط، ط1، ج 6، دار ابن كثير، دمشق - بيروت، 1986م.





ابن دُقَمَاق، إبراهيم بن محمد بن أيدير العلائى، نزهة الأنام فى تاريخ الإسلام، ط1، دراسة وتحقيق: سمير طبارة، المكتبة العصرية للطباعة والنشر، بيروت، 1999م.

ابن الدَّوَاداري، أبو بكر بن عبد الله بن أيك، كنز الدرر وجامع الفرر، ج1، حققه مجموعة من المحققين، نشره عيسى البابى الحلبي، نشر بين عامي 1960-1994م.

الرشيد، محمد بن أحمد، الحرّات فى السعودية، مجلة الفيصل العلمية، العددان 439-440، تصدر عن مركز الملك فيصل للدراسات والبحوث الإسلامية، الرياض، ديسمبر 2012م-يناير 2013م.

الزبيدي، علي بن الحسن، العقود اللؤلؤية فى تاريخ الدولة الرسولية، ط1، ج1: عُنِي بتصحيحه وتنقيحه: محمد بسيوني عسل، ج2: تحقيق: محمد بن علي الأكوع الحوالي، مركز الدراسات والبحوث اليمنى، صنعاء، دار الآداب، بيروت، 1983م.

السمهودى، نور الدين، وفاء الوفاء بأخبار دار المصطفى، ط1، ج1، دار الكتب العلمية، بيروت، 1998م.

العمري، ياسين بن خير الله، زبدة الآثار الجليلة فى الحوادث الأرضية، النجف، 1974م.

العمري، عبدالله بن محمد، البراكين، جامعة الملك سعود، 2013 الرياض.





العيني، بدر الدين، عقد الجمان في تاريخ أهل الزمان، حققه ووضع حواشيه: محمد محمد أمين، ج2، الهيئة المصرية العامة للكتاب - مركز تحقيق التراث، القاهرة، 1987م.

العلاوي، جمعه عبدالرحيم (1995). البراكين. مجلة العلوم والتقنية - العدد 32، مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية - الرياض.

الغنيم، عبد الله يوسف، البراكين والحرث في التراث العربي، الجمعية الجغرافية الكويتية، جامعة الكويت، رسائل جغرافية 117-، سبتمبر، الكويت، 1988م.

الفيروزآبادي، مجد الدين، المغانم المطابة في معالم طابة، ط1، ج1، مركز بحوث ودراسات المدينة المنورة، المدينة المنورة، 2009م.

ابن كثير، أبو الفداء، البداية والنهاية، تحقيق: عبد الله بن عبد المحسن التركي، ط1، ج1، دار هجر للطباعة والنشر والتوزيع والإعلان، القاهرة، 1997م.

ابن كثير، أبو الفداء، بداية خلق الكون، تحقيق: عادل أبو المعاطي، دار البشير، القاهرة، (د.ت).

المسعودي، أبو الحسن، أخبار الزمان، ط2، المكتبة الحيدرية، النجف الأشرف، 1966م.

المسعودي، أبو الحسن، مروج الذهب ومعادن الجوهر، ج1، ط1، اعتنى به





وراجعه: كما حسن مرعي، المكتبة العصرية، صيدا-بيروت، 2005م.

المنبجي، محبوب بن قسطنطين، كتاب العنوان (تاريخ محبوب)، كتبه لنفسه
سعيد بن أبي البدر يوحنا بن عبد المسيح، ج1، باريس، 1909م.

مؤلف مجهول، قول في الرعد والبرق من كتاب المحصل، ضمن مجموع بعنوان
(Fuṣūl Abuqrāt. Faṣl fī qaḍāyā Buqrāt fī al-‘alāmāt al-dāllah ‘alá al-mawt ... etc)
في مكتبة جامعة برنستون.

الوزيري، عبد الله بن علي، تاريخ طبق الحلوى وصحاف المن والسلوى
المعروف بتاريخ اليمن، تحقيق: محمد عبد الرحيم جازم، ط2، ج1،
دار المسيرة، بيروت، 1985م.





المراجع الأجنبية

- Al-Amri A. M., Fnais M. S. Kamal Abdel-Rahman, Mogren S. and Al-Dabbagh M. (2012). Geochronological dating and stratigraphic sequences of Harrat Lunayyir, NW Saudi Arabia, pp. 2791-2805. DOI: 10.5897/IJPS12.178.
- Bullard, Fred. M, (1962) Volcanoes in History, University Of Texas Press, Texas.
- De Boer, Jelle Zeilinga, & Sanders, Donald Theodore, (2002) Volcanoes in Human History, Princeton University Press, Princeton.
- Francis, P. & Oppenheimer, C. (2003). Volcanoes, 2nd Edition. Oxford University Press.
- Jackson, J. A. (1997). Glossary of Geology, 4th Edition. American Geological Institute.
- Harrigan, Peter, (2006), Volcanic Arabia, March/April, Vol. 57 No.2, Saudi Aramco World, Houston.
- Karoly Nemeth (2012) Updates in Volcanology - New Advances in Understanding Volcanic Systems. ISBN 978-953-51-0915-0, , 265 pages, Publisher: InTech.
- Kilburn, Christopher R. J. (1999). Lava Flows and Flow Fields. In: Encyclopedia of Volcanoes (Ed. Sigurdsson, H.). Academic Press. 291-305.
- Schmincke, Hans-Ulrich (2005). Volcanism. Springer.
- Sigurdsson, Haraldur, (2000), Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press, San Diego.
- Taub, Liba, (2003), Ancient Meteorology, Routledge, London.
- Walker, George P. L. (1999). Basaltic Volcanoes and Volcanic Systems. In: Encyclopedia of Volcanoes (Ed. Sigurdsson, H.). Academic Press. 283-289.





موسوعة العمري في علوم الأرض





مواقع على الإنترنت

<https://alchetron.com/Abu-Ma'shar>

https://en.wikipedia.org/wiki/Tide#cite_ref-25

<https://en.wikipedia.org/wiki/Whirlpool>

<https://inventions.t4edu.com/inventions>

<https://Mousou3a.educdz.com>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Titus>

<http://bogdanantonescu.squarespace.com/blog/2015/8/27/a-tornado-near-hague-on-july-1751>

<http://bibliodyssey.blogspot.com/2006/06/on-origins-of-atmospheric-science.html>

<https://www.wdl.org/ar/item/9210>

https://en.wikipedia.org/wiki/Tower_of_the_Winds

https://en.wikipedia.org/wiki/Hadley_cell

<http://www.islandnet.com/~see/weather/history/beaufort.htm>

http://bibliodyssey.blogspot.com/2006_06_25_archive.html

<http://galton.org/books/meteorographica/index.htm>







أ.د. عبد الله بن محمد العمري

www.alamrigeo.com E.mail : alamri.geo@gmail.com Cell : +966505481215

المناصب الإدارية والفنية

- ❖ دكتوراه في الجيوفيزياء عام 1990 م من جامعة مينيسوتا - أمريكا.
- ❖ المشرف على مركز الدراسات الزلزالية- جامعة الملك سعود.
- ❖ المشرف على كرسي استكشاف الموارد المائية في الربع الخالي.
- ❖ المشرف على مركز الطاقة الحرارية الأرضية بجامعة الملك سعود.
- ❖ رئيس الجمعية السعودية لعلوم الأرض.
- ❖ رئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود.
- ❖ مؤسس ورئيس تحرير المجلة العربية للعلوم الجيولوجية AJGS.
- ❖ رئيس فريق برنامج زمالة عالم مع جامعة أوريغون الحكومية ومعهد ماكس بلانك الألماني.

الاستشارات والعضويات

- مستشار مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية.
- مستشار هيئة المساحة الجيولوجية وهيئة المساحة العسكرية والدفاع المدني.
- مستشار مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة.
- مستشار هيئة الرقابة النووية والإشعاعية.
- باحث رئيس في عدة مشاريع بحثية مدعومة من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية وشركة أرامكو.
- باحث رئيس في مشاريع مدعومة من وزارة الطاقة الأمريكية وجامعة كاليفورنيا ومعهد ليفرمور الأمريكي LLNL.
- عضو الجمعية الأمريكية للزلازل.
- عضو الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء.
- عضو الاتحاد الأوروبي للجيولوجيين.
- عضو لجنة كود البناء السعودي وعضو المنتدى الخليجي للزلازل GSF.
- عضو لجنة تخفيف مخاطر الزلازل في دول شرق البحر الأبيض المتوسط RELEMR.
- باحث رئيسي ومشارك في مشاريع بحثية مع جامعات الاباما وبنسلفانيا وأوريغون الأمريكية.
- ضمن قائمة (المنجزون البارزون العرب) من قبل منظمة ريفاسيمنتو الدولية.
- ضمن قائمة Who's Who في قارة آسيا للتميز العلمي.
- ضمن قائمة Who's Who في العالم للإسهامات العلمية.

النشر العلمي والتأليف

- ❖ نشر أكثر من 200 بحثاً علمياً في مجلات محكمة.
- ❖ ألف 35 كتاباً علمياً.
- ❖ أصدر موسوعة رقمية في علوم الأرض من 14 مجلداً و 107 ملفات علمية.

المشاريع البحثية

- ❖ أنجز 40 مشروعاً بحثياً محلياً و 16 مشروعاً بحثياً دولياً و 74 تقريراً فنياً.

المؤتمرات والندوات

- ❖ شارك في أكثر من 125 مؤتمراً محلياً ودولياً و 75 ندوة وورشة عمل متخصصة.

التعاون الدولي

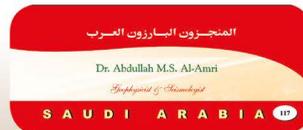
- ❖ باحث رئيسي في 13 مجموعة عمل أمريكية وألمانية.

الجوائز

- ❖ حصل على جائزة المراعي للإبداع العلمي عام 2005 م.
- ❖ حصل على جائزة التميز الذهبي من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية عام 2006 م.
- ❖ حصل على جائزة أبها التقديرية للإسهامات العلمية عام 2007 م.
- ❖ حصل على جائزة جامعة الملك سعود للتميز العلمي عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء للتعاون الدولي والنشاط البحثي عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة جامعة السلطان قابوس للإسهامات العلمية عام 2013 م.
- ❖ حصل على جائزة الملك سعود لإدراج المجلة العربية للعلوم الجيولوجية في قائمة ISI.
- ❖ حصل على جائزة أفضل رئيس تحرير مجلة علمية عام 2017 من الناشر الألماني SPRINGER.
- ❖ حصل على جائزة ألبرت نيلسون ماركيز للإنجاز مدى الحياة عام 2018 من منظمة Who's Who العالمية.

درع التكريم

- ❖ حصل على 85 درعاً تكريمياً وشهادات تقدير من المملكة وعمان والكويت والإمارات والأردن ومصر وتونس والجزائر وألمانيا وأمريكا.





موسوعة أمري في علوم الأرض



Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences



المد
والجزر



المعادن
والتعدين



التركيب
الداخلي للأرض



الجاذبية
الأرضية وتطبيقاتها



شكل
الأرض وحركاتها



تقدير
عمر الأرض



الأغلفة
المحيطة بالأرض



جيولوجية
القمر



البراكين
وسبل مجابقتها



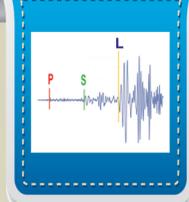
تقييم
مخاطر الزلازل



الزلازل
والتفجيرات



موجات
التسونامي



التصحّر
والجفاف



الأمطار
السيول والسدود



الانزلاقات
والانهيارات والفيضانات



التشجير
التحديات والحلول



التغيرات المناخية
والاحتباس الحراري



المشاكل
البيئية وحلولها



دليل كتابة
الرسائل والنشر العلمي



الجيولوجيا
الطبية



الجيوفيزياء
النووية



هل انتهى
عصر النفط؟



الطاقة
الحرارية الأرضية



مستقبل
الطاقة في عالمنا



300 سؤال وجواب
في الجيوفيزياء
التطبيقية



303 سؤال وجواب
في علم الزلازل
والزلزالية الهندسية



380 سؤال وجواب
في المخاطر
الجيولوجية



358 سؤال وجواب
في الثروات
الطبيعية



325 سؤال وجواب
في علم الصخور
والجيوكيمياء



321 سؤال وجواب
في تطور
الأرض



www.alamrigeo.com

