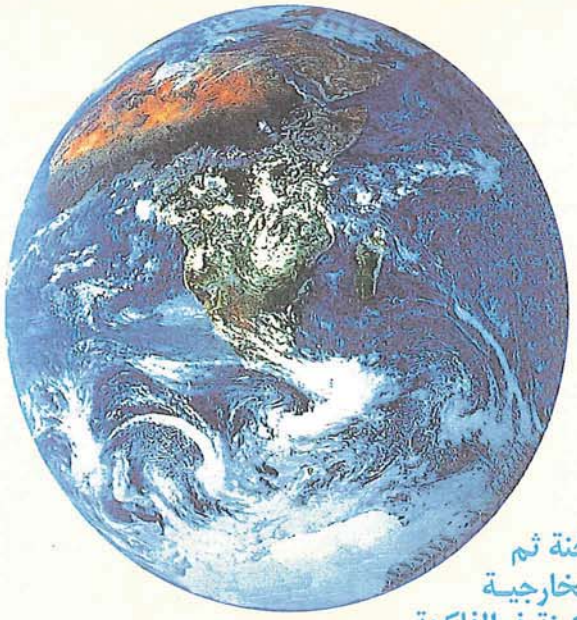


الانجراف القاري واتساع قاع المحيط

د . عبد العاطي أحمد الصادق

كان الاعتقاد السائد في أوائل هذا القرن أن الأرض تكونت ساخنة ثم بدأت تفقد حرارتها مما أدى إلى انكماشها وتكوين قشرتها الخارجية الصلبة ، ثم أرسيت فيها الجبال ، التي تم تمثيلها بالتجاعيد المتكونة في الفاكهة بعد جفافها . وقد أدى تراكم المعلومات الخاصة بالأرض فيما بعد إلى تغيير جذري في المفهوم المشار إليه وإقتراح نموذج جديد يتحدث عن الأرض مثل الكواكب الأخرى بأنها كوكب دائم الحركة ، ولذلك فقد كان سطحه وشكله مختلفاً تماماً عن ما كان عليه قبل بليون سنة .

يتكون السطح الحالي للأرض من وحدات قارية (٢٩,٢٪من سطح الأرض) ووحدات محيطية (٧٠,٨٪ من سطح الأرض) .

تقسم الوحدات القارية إلى الدروع (Shields) التي تتميز بمنكشفات صخرية يعود تاريخها إلى ما قبل الكمبري ، والأرصفة (Platforms)التي هي عبارة عن صخور دروع مغطاة بغطاء رسوبي حديث، وأحزمة الجبال. أما الوحدات المحيطية فتنقسم إلى الجروف القارية (Continental Margins) التي تمثل مناطق الانتقال من القارة إلى المحيط ، وقيعان المحيط (Ocean Basins) ، وأعراف وسط المحيط (Mid Oceanic Ridges) وهي عبارة عن أضخم سلسلة جبلية على الأرض وتكوِّن حزام حول الكرة الأرضية ويصل ارتفاعها في بعض الأماكن إلى ثلاث كيلو مترات بينما يصل طولها إلى آلاف الكيلو مترات .

ومن المعتقد أن الحركة الدائمة والدائبة للأرض أدت إلى تحرك كتل القارات وانفتاح محيطات جديدة واندساس أجزاء من كتل الأرض القديمة في الخنادق المحيطية وارتطام واصطدام بعض الكتل بعضها ببعض مكونة سلاسل الجبال .

أدى قبول نموذج الأرض دائبة الحركة إلى بروز نظريات الانجراف القاري ، وإتساع قاع المحيط ، وتكتونية الصفائح ، وهي نظريات - وثيقة الصلة بعضها ببعض — عملت على تغيير جذري في التفكير العلمي وصف بالثورة العلمية ، سيتناول هذا المقال نظريتي الانجراف القاري وإتساع قاع المحيطات .

نظرية الانجراف القاري

بدأت نظرية الانجراف القاري كفكرة سبقت زمانها ، وذلك عندما نشر العالم الألماني **الفرد فيجنر** (Wegener) في عام ١٩١٥م شرحاً مفصلاً لمحاضرة كان ألقاها في عام ١٩١٢م . وفي هذه المحاضرة أشار فيجنر إلى وجود قارة عملاقة قبل حوالي ٢٠٠ مليون سنة أطلق عليها اسم **بانجيا** (Pangea) يحيط بها محيط عظيم أطلق عليه اسم **بانثالاسا** (Panthalassa).

وحسب الأفكار التي أوضحها **فيجنر** في محاضرته وباستقراء حركة الصفائح فقد وضع الباحثان **دايتس وهولدن** (Dietz and Holden) عام ١٩٧٠م تفاصيل جغرافية الأرض عبر العصور المختلفة التي بدأت بتفكك القارة العملاقة إلى قارتين ضخمتين هما :

١ - قارة شمالية سميت لاروسيا (Laurasia) وتضم من قارات الوقت الحاضر أمريكا الشمالية ، وأوراسيا (أوربا وآسيا) ، ماعدا الهند وجرينلاند .

٢ - قارة جنوبية أطلق عليها قوندوانالاند (Gondowanaland) وتضم من قارات الوقت الحاضر أمريكا الجنوبية ، أفريقيا ، استراليا ، الهند والقارة المتجمدة الجنوبية .

يفصل بين هاتين القارتين بحر كبير يسمى التثيس (Tethys) ، شكل (١-أ) ، ويعتقد أن البحر الأبيض المتوسط من بقايا هذا البحر العظيم . يمثل الشكل (١-ب) جغرافية العالم في أواخر العصر الجوراسي قبل حوالي ١٣٥ مليون سنة أي بعد حوالي ٦٥ مليون سنة من بداية انجراف القارات . ويعتقد أن قارة القوندوانالاند بدأت تتفكك حيث انفصلت أفريقيا وأمريكا الجنوبية ككتلة واحدة وبدأ بعدها المحيط الأطلسي في التكوين ، كما بدأت الهند رحلة الزحف الطويلة نحو الشمال . يوضح الشكل (١-ج) جغرافية العالم في العصر الطباشيري قبل حوالي ٦٥ مليون سنة حيث يلاحظ أن المحيط الأطلسي تكون بالكامل وانفصلت استراليا من القارة المتجمدة الجنوبية .

يوضح الشكل (١-د) الوضع الجغرافي الحالي للقارات ، أما الشكل (١-هـ) فيوضح الوضع الجغرافي الذي يتوقعه الجيولوجيون - بمشيئة الله - للقارات بعد ٥٠ مليون سنة .

بنيَّ التسلسل المشار إليه في الأشكال من (١-أ) إلى (١-هـ) على كثير من الافتراضات من أهمها أن القارات ستظل تتحرك بسرعتها الحالية . ولذلك فإن من أهم التغيرات في الوضع الجغرافي للأرض بعد حوالي ٥٠ مليون سنة باذن الله تعالى يتمثل فيما يلي : -

١ - ازدياد المحيط الأطلسي اتساعاً مع ضيق في المحيط الهادي مما يؤدي إلى اقتراب قارة استراليا من قارة آسيا وربما الاصطدام بها.

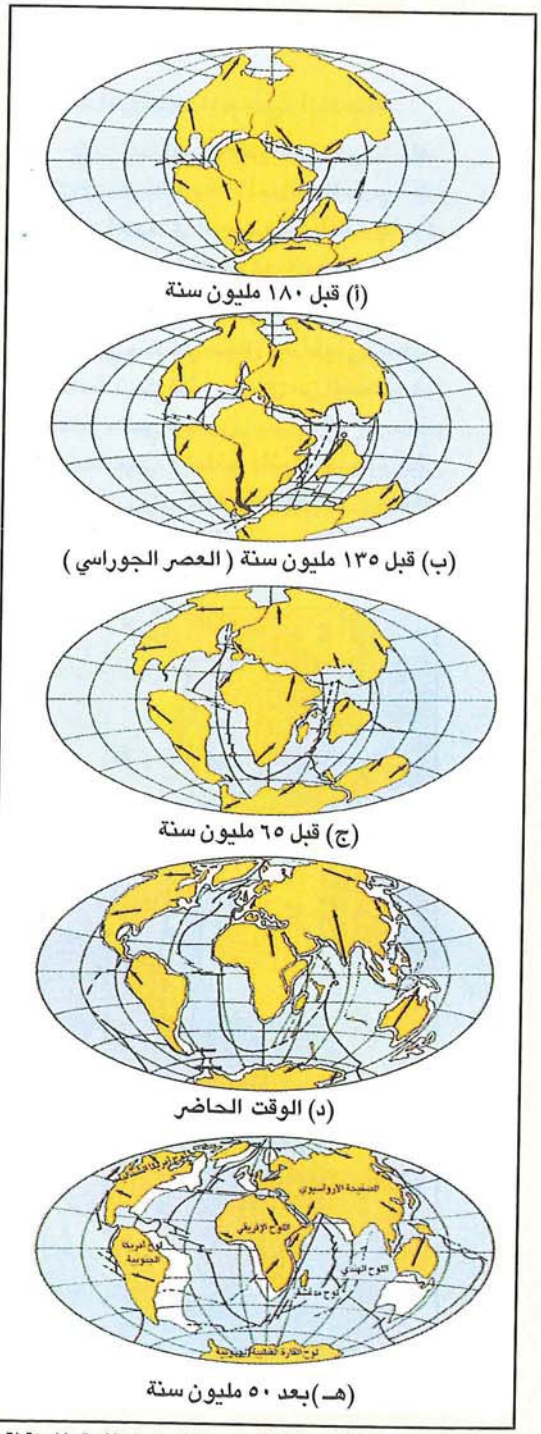
٢ - انغلاق الخليج العربي مما يؤدي إلى التحام الجزيرة العربية مع قارة آسيا .

٣ - صغر مساحة البحر الأبيض المتوسط .

٤ ـ انفصال شرق أفريقيا عن أفريقيا الأم نتيجة لتطور الأخدود الأفريقي العظيم إلى بحر كبير .

٥ ـ انفصال أمريكا الشمالية عن أمريكا الجنوبية .

٦ ـ تغير هام في جنوب ولاية كاليفورنيا على طول صدع سان أندرياس حيث سينزلق جنوب كاليفورنيا إلى الشمال مما يؤدي إلى مرور مدينة لوس أنجلوس بمدينة سان فرانسسكو .



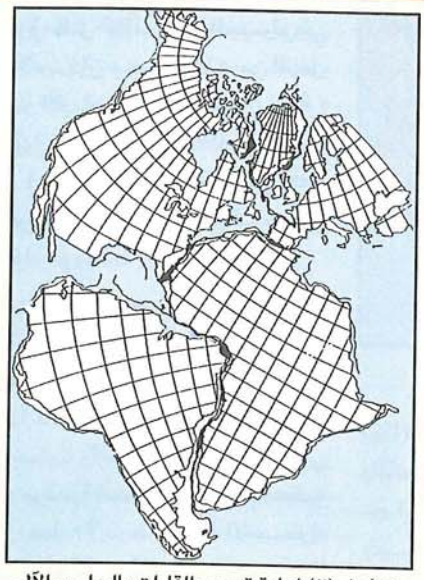
● شكل (١) جغرافية الأرض خلال العصور الماضية والحاضرة والمستقبلة.

الأدلة على الانجراف القاري

قام **فيجنر** وأتباعه اللاحقون فيما بعد بجمع الكثير من الأدلة التي تساند نظريته ، ومن هذه الأدلة مايلي :

● التوافق الشكلي لحواف القارات

لفت نظر **فيجنر** الشبه الشكلي الواضح بين حواف القارات على جانبي المحيط الأطلسي خاصة قارتي أمريكا الجنوبية وأفريقيا . وقد شجع هذا التوافق **فيجنر** بافتراض أن هذه القارات كانت متصلة بعضهما ببعض لذا حاول إعادة تشكيلها بعد قفل المحيط الأطلسي. وقد لقيت هذه المحاولة معارضة شديدة إذ أثار المعارضون أن حواف هذه القارات قد تغيرت كثيراً بفعل عوامل التعرية ، إلا أن العالم **بولارد** (Bullard) قام في أوائل الستينات بوضع القارات بعضها مع بعض باستعمال الحاسب الآلي ، كما هو موضح في الشكل (٢) ، فوجد أن هنالك مطابقة بين حواف القارات عند عمق ٩١٥ متراً . ويلاحظ من الشكل أن القارات تراكبت في بعض أجزائها

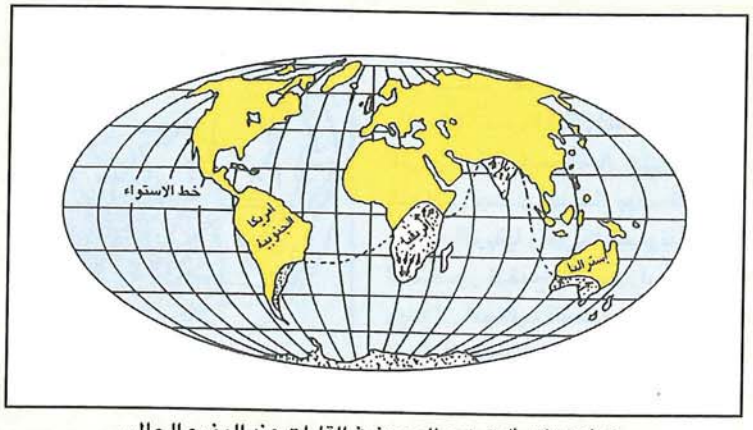


● شكل (٢) إعادة تجميع القارات بالحاسب الآلي.

بفعل الظواهر الطبيعية الحديثة التي تكونت بعد انفصال القارات مثل تكوين نهر النيجر في غرب أفريقيا ، كما يلاحظ كذلك وجود بعض الفرجات بين القارات التي عزيت لعوامل التعرية .

● المناخية القديمة

في ظل قانون جيولوجي ينص على أن « الحاضر مفتاح الماضي » يمكن استخدام بعض أنواع الصخور الرسوبية كمؤشر لمعرفة المناخ الذي كان سائداً أثناء ترسيبها، فمثلاً تترسب طبقات الرمل الأحمر في المناطق الدافئة والقاحلة ، أما في المناطق الباردة فإن نوع الرواسب المتكونة فيها هي خليط من الجلاميد ، والرمل ، والغرين والطين المعروفة باسم الحريث (Tillites) نتيجة لانجراف المثالج في المناطق المتجمدة .



● شكل (٣ـأ) توزيع الحريث في القارات عند الوضع الحالي.

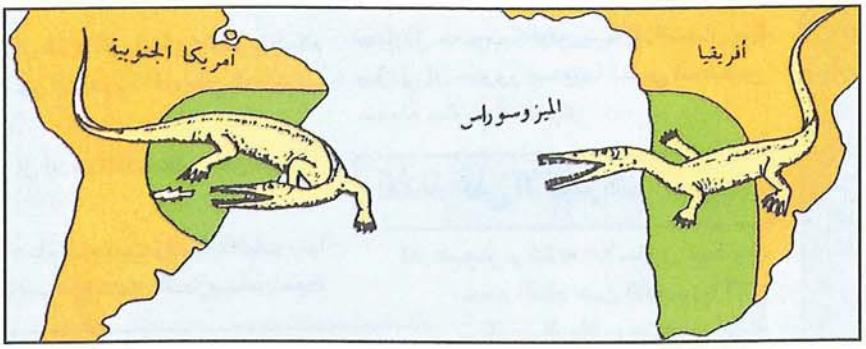
وعليه وفي ظل القانون الجيولوجي المذكور أعلاه ـ فإن وجود طبقات من الرمل الأحمر بعمر الترياسي (١٨٠ مليون سنة) في انجلترا يدل على أن انجلترا كانت في العصر الترياسي في مناطق تتمتع بمناخ دافىء وقاحل، أى أنها كانت في موقع قريب من خط الاستواء ثم زحفت إلى مكانها الحالي .

على الجانب الآخر يفسر وجود الحريث في الجزء الجنوبي لكل من قارة أفريقيا ، أمريكا الجنوبية ، الهند ، استراليا ، الشكل (٣ـ أ) أنها كانت في السابق تحت تأثير المناخ البارد والمتجمد ثم زحفت حتى وصلت إلى موقعها الحالي الذي يقع معظمه الآن بين خط ٣٠ درجة وخط الاستواء لتتميز بمناخ قاري أوشبه قاري ، وبما أن عمر رسوبيات الحريث في هذه المناطق هي البرمي ــ الكربوني فقد فسرت هذه الظاهرة الاعتقاد بأن كل هذه القارات كانت مجتمعة في قارة عظيمة واحدة (قارة قوندوانالاند) في فترة البرمي ـ الكربوني ، وتحت تأثير مناخ قطبي بالقرب من القطب الجنوبي كما موضح في الشكل (٣ـ ب) ، ثم زحفت إلى أوضاعها الحالية .

الشاهد الأحفوري

أشارت الدراسات الأحفورية إلى وجود تشابه في المكونات الأحفورية بين أمريكا الجنوبية وأفريقيا خاصة في أنماط حياة حقب الحياة المتوسطة مما يدل على التحام أمريكا الجنوبية وأفريقيا في الماضي ، غير أن المعارضين لهذه الفكرة أتوا بوجهة نظر تقول إن هذا التشابه نشأ من وجود جسر أرضي يربط بين قارتي أفريقيا وأمريكا الجنوبية ، لذا عندما أراد فيجنر التدليل

● شكل (٣ـ ب) توزيع الحريث في القارات بعد تجمعها في قارة قوندوانالاند.



● شكل (٤) توزيع احفور حيوان الميزوسوراس.

بهذا الشاهد لتأكيد نظريته لجأ إلى الاستعانة بالكائنات التي لم يكن في مقدورها الانتقال عبر المحيطات الحالية ، وذلك بالاستعانة بنبات الجلوسبتريس (*Glossopteris*) ـ نوع من أنواع السراخس المنتشرة في القارات الجنوبية (أفريقيا ، أمريكا الجنوبية ، أسيا) أثناء حقب الحياة المتوسطة ــ الذي اكتشفت حفرياته فيما بعد في القارة المتجمدة الجنوبية. أما في جانب الحيوان فقد وجدت بقايا لنوع من الزواحف السابحة من جنس الميزوسوراس (*Mesosaurus*) في كل من شرقي أمريكا الجنوبية وغرب أفريقيا ، شكل (٤) . ورغم أن لهذه الزواحف القدرة على السباحة في المياة الضحلة في أماكن وجودها ، إلا أنه يصعب عليها الانتقال لمسافات طويلة عبر المحيط الأطلسي ، مما يؤكد على أن أمريكا الجنوبية وأفريقيا كانتا قارة واحدة .

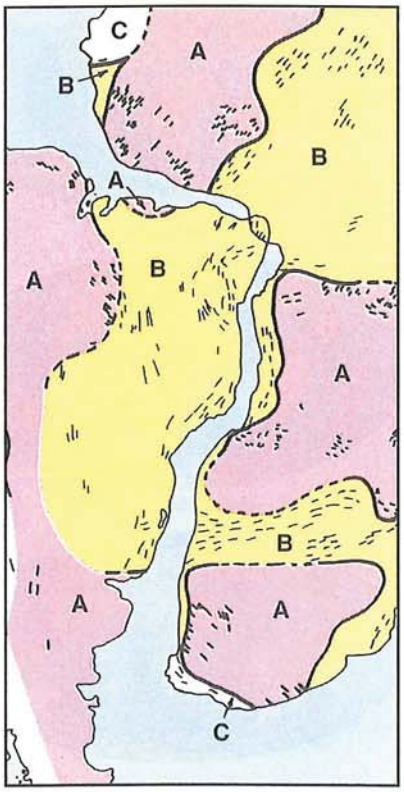
شاهد التكامل الجيولوجي والبنائي

يقدم هذا الشاهد الدليل على التناسق والاستمرارية لبعض الصخور والبنيات في القارات المتقابلة ، فإذا كانت هذه القارات مجتمعة في وقت مضى فلابد أن تتشابه صخورها نوعاً وعمراً . ويوضح الشكل (٥) بعض المناطق التي تم تحديد عمر صخورها في كل من أمريكا الجنوبية وأفريقيا ، ومن الشكل المذكور فإن المناطق التي رمز لها بالحرف A هي أقدم عمراً من تلك التي رمز لها بالحرف B، وبإعادة تجميع أفريقيا وأمريكا الجنوبية حسب عمر الصخور تتضح الاستمرارية في العمر . وبما أن الخطوط القصيرة في الشكل توضح اتجاهات الطيات في الصخور المتحولة نجد أن هنالك توافقاً في البنيات في كل من شمال شرق البرازيل وغرب أفريقيا .

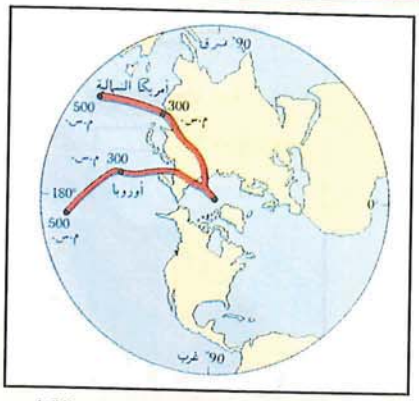
شاهد المغناطيسية القديمة

تعد المغناطيسية القديمة من أهم الشواهد التي دعمت نظرية الانجراف القاري ، كما أنها ساعدت في انبعاث هذه النظريات في الخمسينيات بعد أن صرف عنها النظر.

وكما هو معلوم في علم الفيزياء فإن وضع أي مادة في مجال مغناطيسي يجعلها تتمغنط تحت تأثير نوعين من التمغنط هما تمغنط حثي يزول بزوال المجال المغناطيسي، وتمغنط دائم أو قديم يبقى حتى بعد زوال المجال المغناطيسي . وتحتفظ المواد التي تتمغنط تمغنطاً دائماً بشدة واتجاه المجال المغناطيسي الذي تمغنطت



● شكل (٥) إعادة تركيب أفريقيا وأمريكا الجنوبية حسب عمر الصخور.

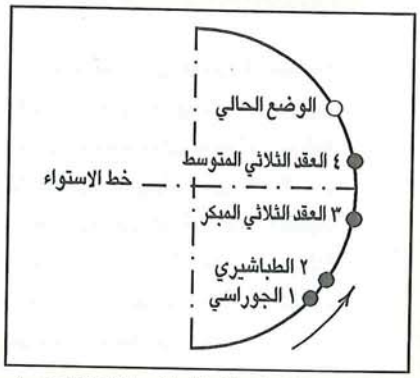


● شكل (٦) مساري التجوال الظاهري القطبي لأمريكا الشمالية وأوربا.

تلعب المغناطيسية القديمة دوراً مهماً في دعم نظرية الانجراف القاري ، وذلك لأنها تساعد في معرفة خطوط العرض القديمة التي كانت فيها الصخور خلال الأزمنة الجيولوجية المختلفة وذلك باستعمال العلاقة $\tan I = 2\tan \lambda$ وهي علاقة تربط بين زاوية الميل (I) ـ اتجاه الحقل المغناطيسي وخط العرض القديم (λ).

تمثل طريقة المسار الظاهري لتجوال الأقطاب (Apparent Polar Wandering Path) إحدى الطرق التي تستخدم في عرض ومعرفة نتائج المغناطيسية القديمة ، ويتم ذلك برسم الموضع التتابعي للأقطاب خلال الأزمنة الجيولوجية المتعاقبة فوق شبكة خطوط الطول والعرض الحالية لمعرفة المسار الظاهري لتجوال القطب . ويوضح الشكل (٦) مساري التجوال لكل من أمريكا الشمالية وأوربا الذي يوضح أن لكل قارة مسارا خاصا بها ، وفي ذلك تأكيد لاقتراح العالم المشهور **رونكون** (Runcorn) في أوائل الخمسينات الذي يفترض وجود مسار مختلف لكل قارة لتأكيد حركة القارات، وإلا سيكون لكل قارة قطبها الخاص ، زد على ذلك فقد لاحظ رونكون التشابه بين مساري أمريكا الشمالية وأوربا ، كما لاحظ أن الفرق بينهما في مختلف الحقب الجيولوجية ثابت ويساوي حوالي ٣٠ درجة خط طول ، ولذا فإن تحريك (تدوير) مسار أمريكا الشمالية بحوالي ٣٠ درجة خط طول سيؤدي إلى انغلاق المحيط الأطلسي ، وفي هذا دعم وتأييد لنظرية الانجراف القاري .

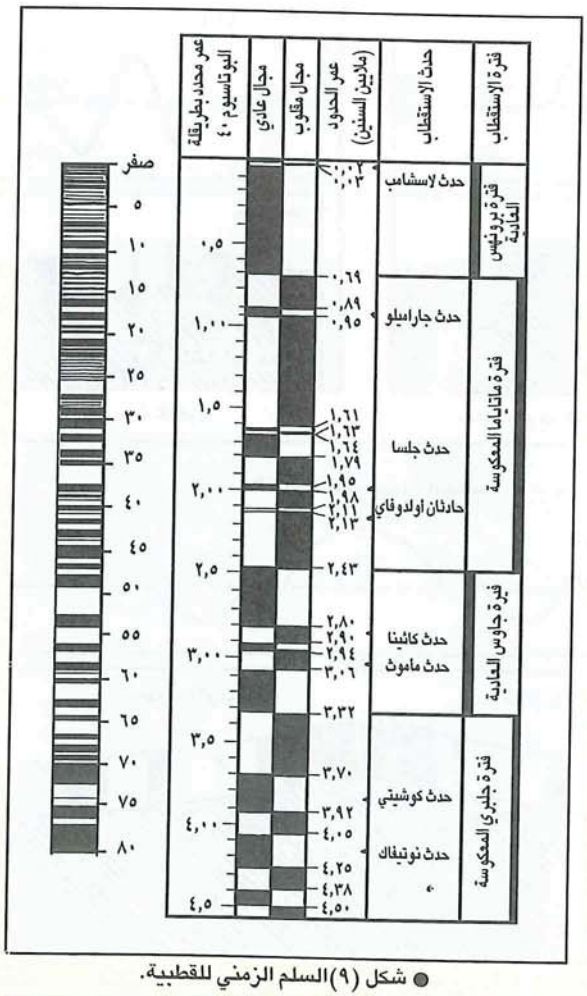
وهناك مثال آخر لدور المغناطيسية القديمة في دعم نظرية الانجراف القاري ، وذلك باستخدام القانون الذي يربط بين اتجاه المغناطيسية القديمة وخط العرض القديم الذي كانت فيه الصخور . وقد أشارت نتائج فحص وقياس المغناطيسية لعينات بازلتية ـ تتراوح أعمارها بين الجوراسي والعقد الثلاثي في أنحاء متفرقة من الهند ، شكل (٧)، إلى أن الهند كانت في موقع بالقرب من القطب الجنوبي ثم زحفت شمالاً لمسافة حوالي ٧٠٠٠كم بمعدل بضع سنتميرات في السنة لتستقر في موقعها الحالي في قارة آسيا .



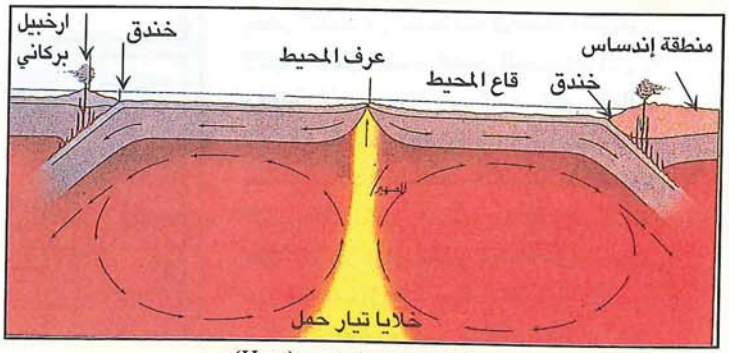
● شكل (٧) الوضع الحالي لشبه القارة الهندية في بعض الأزمنة الجيولوجية المختلفة.

سلبيات نظرية فيجنر

بالرغم من أن نظرية انجراف القارات بنيت على أساس صحيح وسليم إلا أنها حوت كثيرا من التفاصيل الخاطئة ، فيه، وتعرف هذه المواد بالمواد الحديد ومغناطيسية (Ferro magnetic) ، لذا نجد أن الصخور التي تتمغنط تمغنطاً دائماً تحتوى على بعض المعادن مثل الماجنتيت ، كما أنها تحتفظ بشدة واتجاه المجال المغناطيسي الذي كان سائداً أثناء تكوينها . وتكتسب الصخور تمغنطها بعدة طرق منها مثلاً أن الصخور النارية تكتسب تمغنطها عندما يبرد الصهير تحت درجة حرارة معينة تعرف بنقطة كوري (Curie Point) .



● شكل (٩)السلم الزمني للقطبية.



● شكل (٨)نموذج هس (Hess).

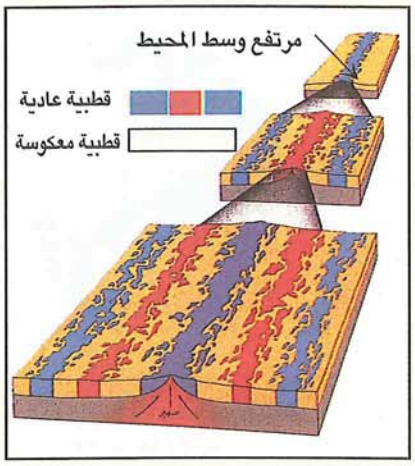
فبالإضافة إلى عدم قدرته على تقديم القوى المقنعة (اقترح **فيجنر** ظاهرة المد والجذر كقوة محركة للقارات) فإنه من غير المعقول أن تنشطر القارات خلال القشرة المحيطية فقط . إذاً فالأمر يحتاج إلى جمع أدلة أكثر لسبر غور باطن كوكبنا المتغير .

نظرية اتساع قاع المحيط

أدت الاكتشافات الجديدة ، التى أعقبت الحرب العالمية الثانية إلى معرفة الكثير عن قاع المحيطات ، مما حدا بالعالم **هاري هس** (H . Hess) ـ في أوائل الستينيات من هذا القرن ـ إلى تقديم فرضية اتساع قاع المحيط . وقد اختار الشعر الجيولوجي (Geopoetry) عنواناً لمقالته ، لأنه كان يعتقد أنها تفتقر إلى المعلومات التى تعززها .

وطبقاً لفرضية هس فإن هناك خلية تيارات حمل كبيرة ، شكل (٨) ، تعمل داخل الوشاح مسببة تصاعد مواد صهيرية منه إلى سطح قاع المحيط على طول منطقة تسمى بأعراف المحيط(Mid Oceanic Ridges) مكونة بذلك قشرة محيطية جديدة من مادة تسمى السيربنتين (Serpentinite) ، وفي الوقت نفسه تؤدي تيارات الحمل الصاعدة إلى انزياح جانبي لقاع المحيط مسببة اتساعه ، ومن هنا جاء اسم نظرية اتساع قاع المحيط (Seafloor Spreading) .

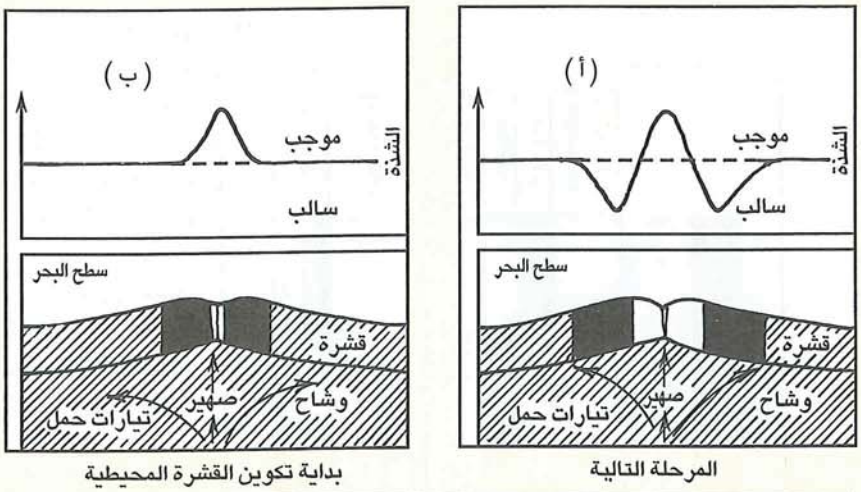
وقد اقترح **هس** كذلك أن الخنادق المحيطية (Oceanic Trenches) تمثل الطرف الهابط لخلية تيارات الحمل ، ولذا ينبدس الليزوسفير في نطاق يسمى نطاق الاندساس (Subduction Zone) مما يعرض الأجزاء القديمة من القشرة المحيطية إلى الاستهلاك ، ولذا نجد أن القشرة المحيطية متجددة دائماً . ويفسر ذلك بأن معدل تحرك تيارات الحمل ــ وبالتالي معدل حركة وانتشار قاع المحيط ــ يتراوح بين ١ ـ ٢ سم في السنة ، مما يؤدي إلى تغير قاع المحيط واستبداله كل ٢٠٠ ــ ٣٠٠ مليون سنة ولذا تعد القشرة المحيطية أحدث دائماً من القشرة القارية المتواجدة منذ بلايين السنين .



● شكل (١١) شريط تسجيل القشرة المحيطية.

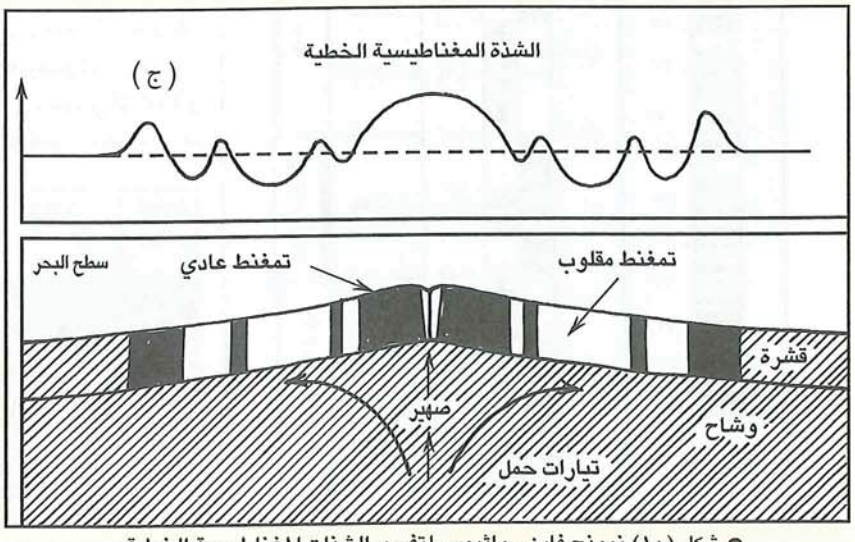
بهذه الفرضية أرسى **هس** دعائم مرحلة جديدة من الثورة العلمية ، وبعد ذلك جاءت الأدلة الداعمة لفرضيته تثرى من خلال عمل طالب الماجستير **فاين** (Vine) تحت إشراف أستاذه **ماثيوس** (Mathews) في جامعة كمبردج الذي ربط بين فرضية اتساع قاع المحيط كما قدمها **هس** وانعكاس قطبية المجال المغناطيسي الأرضي في نموذج أصبح يعرف بنموذج **فاين ـ ماثيوس** .

وبما أن نموذج **فاين ــ ماثيوس** مرتبط بانعكاس قطبية المجال المغناطيسي للأرض لذا وجب إعطاء فكرة مبسطة عن هذا الانعكاس . فقد دلت قياسات المغناطيسية القديمة على طفوح اللابة ـ في أنحاء مختلفة من العالم ـ أن بعض الصخور متمغنطة في اتجاه معاكس لاتجاه الحقل المغناطيسي السائد الآن ، وحقيقة الأمر وجد أن نصف صخور العالم تقريبا متمغنطة في اتجاه الحقل السائد الآن ، بينما وجد أن النصف الآخر متمغنط في الاتجاه المعاكس ، وقد أوردت شواهد عدة على أن الحقل المغناطيسي فعلاً عُكِسَ عدة مرات (حوالي ٧٨ مرة في الثمانين مليون سنة الأخيرة) . ويفسر انعكاس القطبية هذا



المرحلة التالية

بداية تكوين القشرة المحيطية



● شكل (١٠) نموذج فاين ـ ماثيوس لتفسير الشذات المغناطيسية الخطية.