الفصل الثانى

الأرض الصلبة

الجاذبية :

الجاذبية إحدى الظواهر الطبيعية المألوفة لنا جميعاً ، يستوى فى ذلك العلماء وغير العلماء ، منذ اللحظة التى وصلنا فيها إلى هذا العالم والجاذبية تحوطنا وتشدنا . وكانت أول تجربة لنا مع الجاذبية يوم كنا أطفالاً صغاراً نحبو ثم نحاول السير فنسقط على الأرض مرات ومرات عديدة . .

وقد أثارت الجاذبية اهتمام عدد كبير من العلماء قرونا طويلة . وبالرغم من أنهم قد عرفوا الكثير عن صفات قوة الجاذبية وآثارها إلا أن حقيقتها ما زالت سراً إلى حد بعيد . والجاذبية بصفة عامة إحدى قوى الطبيعة الرئيسية التى تؤثر على جميع الأجسام . وهناك عاملان جوهريان يؤثران فى مقدارها هما : كتلة الجسمين المجذوبين كل منهما للآخر ، والمسافة التى تفصل بينهما .

وقد حدد السير « إسحاق نيوتن » العالم البريطانى المشهور ظاهرة الجاذبية بالقانون الأساسى للجاذبية الذى وضعه فى القرن السابع عشر . ونص هذا القانون على أن أى جسمين يجذبان بعضهما بعضاً بقوة تتناسب تناسباً طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وتناسباً عكسياً مع مربع المسافة التى تفصل بينهما . وتقول القصة المعروفة إن نيوتن توصل إلى قانونه هذا بعد أن شاهد وراقب تفاحة تسقط من فوق شجرة .

وبالرغم من أن قوة الجاذبية لا ترى ولا تلمس ، إلا أنه من الممكن قياسها بل واستخدامها فى عدد كبير من الأمور النافعة . فالعجلة مثلاً ،

وهى المعدل الذى يغير عنده جسم ما سرعته بالنسبة للزمن ، ترتبط إرتباطاً وثيقاً بالجاذبية . وبالرجوع إلى التعريفات العلمية الدقيقة نجد أن عجلة الجاذبية الأرضية مساوية للزيادة فى سرعة جسم يسقط بسرعة ٣٢ قدماً فى الثانية على سطح الأرض ، وهى تمثل النسبة بين وزن الجسم الساقط وكتلة الجسم الذى يجذبه إليه . وهذا معناه أن أى جسم يسقط من تلقاء نفسه يسير فى بداية رحلته بسرعة ٣٢ قدماً فى الثانية . وبعدها بثانية واحدة تكون سرعته قد زادت ٣٢ قدماً أخرى ، أى أنه يتحرك إذ ذاك بمعدل ٦٤ قدماً فى الثانية.

ويساعدنا قانون الجاذبية الأرضية على مزيد من الفهم لتلك الظاهرة . إذ يقول إن أى جسمين يجذب كل منهما الآخر ، وتعتمد درجة الجذب أو قوته على كتلتى الجسمين والمسافة التى تفصل بينهما .

ولكى يسهل العلماء دراساتهم فى الجاذبية وضعوا اصطلاح « جال » gal لوحدة التسارع (العجلة) وقد اشتقت هذه الكلمة من اسم « جاليليو » عالم الفلك والطبيعة الأيطالى المعروف الذى قام بإجراء بعض أقدم التجارب فى الجاذبية والعجلة .

وبعد حسابات دقيقة عرف أخصائيو قياس الجاذبية أن وحدة الجال فى الأغراض المحدودة بالأرض مساوية لعجلة سنتيمتر واحد فى الثانية كل ثانية. ووجدوا أن القيمة العددية لذلك هى ٢٧٤ر٩٨١ سنتيمتر . وهذا الرقم يمثل قوة الجاذبية بالنسبة لعجلة تؤثر على جسم يسقط من تلقاء نفسه . مثل هذا الجسم ستزداد سرعته بمقدار ٢٧٤ر٩٨١ سم فى الثانية كل ثانية . وقد حدد هذه القياسات علماء الطبيعة الذين كانوا يعملون فى « برج هلمرت » فى بوتسدام بألمانيا .

وبالرغم من أن هذه القياسات معترف بها كقيمة معيارية تقارن بها كل قراءات الجاذبية الأخرى ، إلا أن الجاذبية ليست واحدة فى كل مكان على

الأرض . فقياس الجاذبية يختلف من مكان لآخر ، والسبب الرئيسى فى ذلك أن الأرض ليست كرة تامة التكوير . وهناك سبب آخر وهو أن كتلة الأرض بعيدة عن التناسق والتجانس ، بل بها جبال وسهول ومحيطات عميقة تؤدى إلى التغاير والسبب الثالث فى تغير الجاذبية هو دوران الأرض حول نفسها .

وهناك حقيقتان رئيسيتان وهامتان قام عليهما علم الجاذبية : الأولى هى أن قوة الجاذبية تزداد كلما اقتربنا من مركز الأرض وتقل كلما ابتعدنا عن هذا المركز . والثانية هى أنه كلما زادت كثافة المواد المكونة منها القشرة الأرضية فى منطقة ما زادت قوة الجاذبية عند هذه النقطة ، وكلما نقصت كثافة هذه المواد نقص مقدار قوة الجاذبية .

وأعظم اختلاف فى قياسات الجاذبية هو ذلك الموجود بين قياساتها عند خط الاستواء وعند القطبين . وسر هذا الفارق الواسع هو أن الأرض مسطحة قليلاً عند القطبين ، مما يجعل كلاً من القطبين أقرب إلى مركز الأرض من أى نقطة على خط الاستواء بحوالى ١٣ ميلاً . ويسبب دوران الأرض كذلك اختلافاً فى الجاذبية لأن القوة المركزية الطاردة توجد قوة شد تؤثر على قوى الجاذبية ، وهذا التأثير يبلغ مداه عند خط الاستواء ويتلاشى عند القطبين . لهذا نجد أن هذين العاملين يجعلان قوة الجاذبية عند القطب أعلى منها عند خط الاستواء . وهناك مثل طريف يوضح لنا هذا الاختلاف ، وهو أن الرجل الذى يبلغ وزنه عند خط الاستواء ٢٠٠ رطل مثلاً يزداد وزنه رطلاً واحداً عند القطبين .

ولقد قدمنا أن قوة الجاذبية قوة غير متطورة . ومن الطبيعى أن يتساءل الكثيرون ، وكيف يقيسها العلماء إذن ؟ إن العلماء يقومون بذلك عن طريق جهازين فى منتهى الحساسية : هما البندول وجهاز قياس الجاذبية (جرافيمتر) . والبندول عبارة عن شاقول متدل من طول معلوم ، ويحدد

العلماء به مقدار الجاذبية فى مكان ما عن طريق قياس الوقت الذى يستغرقه البندول ذهاباً وإياباً ويحسبون متوسط الثوانى اللازمة لإكمال ذبذبة كاملة جيئة وذهاباً، وهم يفعلون ذلك فى العادة لفترة زمنية محدودة ، وعدد الثوانى اللازم لإكمال ذبذبة واحدة يتناسب تناسباً طردياً مع قيمة الجاذبية فى مكان التجربة . ففى المكان الذى تزداد فيه قوة الجاذبية يكون ارتجاج البندول أسرع منه فى المناطق الأقل جاذبية . وعن طريق قياس ملايين عديدة من الذبذبات استطاع العلماء أن يحددوا مقدار قوة الجاذبية بدقة .

وجهاز الجرافيمتر هو أكثر الجهازين استخداماً فى أنحاء العالم لقياس الجاذبية . فهو جهاز سهل التشغيل وهو يقـــدم قراءات يمكن مقارنتها بالقراءات التى نحصل عليها من البندول. ويتكون مقياس الجاذبية (الجرافيمتر) من زنبرك حساس جداً يتحرك أمام تدريج كما يحوى سلكاً رفيعاً جداً من الكوارتز (أو سبيكة من الصلب والنيكل) معلقاً فى نهايته ثقل صغير. وتقاس قوة الجاذبية بقراءة الاستطالة الحادثة فى هذا السلك ، وتصل دقة هذا الجهاز إلى قياس واحد من عشرة ملايين .

ووزن الجرافيمتر لا يزيد على عدة أرطال ، وبذا فهو سهل النقل من مكان إلى آخر ، ويمكن الحصول على قراءة منه فى وقت يقل عن الخمس دقائق. ولكن عيبه هو أنه لا يستطيع قراءة مقدار الجاذبية فى مكان واحد، بل لابد من أخذ القراءة فى مكانين ثم يقاس الفرق بين القراءات. وقد عاقت المحيطات والبحار دائماً جهود علماء الطبيعة الأرضية لقياس مقدار الجاذبية فى مختلف المناطق على سطح الكرة الأرضية إذ كان يستحيل استخدام البندول أو الجرافيمتر على سطح سفينة لأن حركة الأمواج تجعل من السفينة نفسها قاعدة غير ثابتة. وكان « ف . ا . فينيج مينس » أول من تغلب على هذه العقبة، فقد تمكن هذا العالم فى سنة ١٩٢٧ من عمل جهاز معقد إلى حد بعيد ومكون من ثلاثة بندولات ، وقد أثبت هذا الجهاز كفاءة عظيمة وتم

تطويره حتى أمكن استخدامه على سطح غواصة تغوص فى قاع المحيط حتى تبتعد عن اهتزازات الأمواج، ولكن هذا الجهاز لم يكف حاجة الباحثين والعلماء لأنه لم يكن من السهل عليهم الحصول على غواصة فى معظم الأحيان لأغراض البحث العلمى .

ثم صنع فيما بعد جهاز آخر معقد صمم خصيصاً ليستخدم تحت الماء الضحل ، صممه مهندسو شركة بترول الخليج واستخدموه فى البداية للبحث عن البترول فى المياه الشاطئية ، وكان الجهاز الجديد مكوناً من الجرافيمتر العادى بعد وضعه فى إناء محكم يقيه الهزات الناشئة من الأمواج ، ومن الممكن إنزال هذا الجهاز إلى باطن المياه الضحلة، وتسجل القراءة من زورق مصاحب له .

وعند ماحلت السنة الجغرافية الدولية كان علماء الطبيعة الأرضية المتخصصون فى الجاذبية قد وضعوا خطة رائعة لتغطية الكرة الأرضية بقراءات عن الجاذبية واهتموا فى تخطيطهم بالتركيز على المحيطات والبحار لأنها تشكل ٧٠٪ من سطح الكرة الأرضية ، وكانت هذه المناطق الشاسعة هى الأجزاء التى بقيت تمثل فجوة فى قراءات الجاذبية ، وكان خبراء الجاذبية بالطبع يتطلعون إلى جهاز أو طريقة لاتحتاج إلى غواصة . وإن كانوا قد استخدموا غواصة على نطاق ضيق . وحصل الخبراء أخيراً على ماأرادوه بعد بداية السنة الجغرافية الدولية مباشرة .

لقد تمكن « أنتون جراف » من ميونخ بألمانيا من تصميم جهاز حساس لقياس الجاذبية يمكن استخدامه فوق ظهر سفينة، ويتطلب هذا الجهاز الحساس أن يرفع على قاعدة مستوية تماماً ومستقرة جيروسكوبياً . وفى نوفمبر ١٩٥٧ تمت تجربة هذا الجهاز الحساس على الطبيعة لأول مرة وقد أجراها الدكتور « لامار ورزل » الذى يعمل بمرصد « لامونت » الجيولوجى التابع لجامعة

كولومبا على ظهر الباخرة الأمريكية « كامباس أيلند ». وحينما قورنت نتائج الجهاز الجديد بالنتائج التى سبق الحصول عليها من الغواصة تبين أنها متقاربة جداً .

وكان الجهاز الجديد تطوراً رائعاً وانتصاراً على مشكلة استخدام الغواصة . وخفض هذا الجهاز المدة اللازمة للحصول على نتائج من يومين إلى ثمانى ساعات فقط . كما أن النتائج التى يسجلها الجهاز تصبح معدة للبحث العلمى فى نصف يوم، بينما كانت بيانات جهاز الغواصة تحتاج إلى أسبوعين كاملين بل، وأكثر من هذا فإن من المهم جداً معرفة موضع المكان الذى تؤخذ فيه القراءات وهذا الموضع يمكن تحديده من فوق ظهر مركب بدقة أكثر من تحديده من غواصة تحت الماء .

وبالرغم مما امتاز به جهاز جراف عن الأجهزة الأخرى فقد وجد علماء السنة الجغرافية الدولية صعوبات ضخمة فى تعميمه واستخدامه على نطاق واسع . وكانت المشكلة الرئيسية هى الحصول على سفن مناسبة يمكن أن يركب فيها الجهاز . وكانت النتيجة أنه وإن استخدم فى بضعة سفن إلا أن البرنامج الواسع لقياس الجاذبية فى مناطق واسعة كان لابد من أن يكون محدوداً للغاية .

وتعود الأهمية الأولى لقياس الجاذبية إلى إمكان إستخدامه فى تحديد شكل الأرض نفسها . . ومعرفة هذا الشكل ضرورى جداً بالنسبة لواضعى الخرائط الذين يقع على عاتقهم عبء تحويل المنحنيات والمناطق غير المنتظمة من سطح الأرض إلى سطوح مستوية .

وكان الملاحون والجغرافيون والجيولوجيون هم الآخرون فى حاجة ماسة إلى القراءات الخاصة بالجاذبية الأرضية . فالبيولوجيون مثلا فى حاجة إلى قراءات الجاذبية للاستعانة بها فى تنقيبهم عن البترول وسائر الثروات

المعدنية المدفونة فى باطن الأرض. وقياس الجاذبية بالطبع موضوع حيوى بالنسبة لعلماء الطبيعة الأرضية لا لكى يحددوا شكل الأرض الحقيقى فحسب بل لكى يحددوا تركيبها الداخلى كذلك . وكان أحدث استخدام لقراءات الجاذبية الأرضية فى مجال الأقمار الصناعية وسفن الفضاء التى حملت الرواد للدوران حول الأرض . . فقوى الجاذبية تمتد إلى أبعاد كبيرة فى الفضاء حيث تقل قوتها كلما ابتعدنا عن الأرض . وهذه القوى تتحكم إلى حد كبير فى تحديد مدارات مركبات الفضاء . . وقد يخلق نقص هذه القوى أو زوالها تماماً مشاكل معقدة وغير عادية لرواد الفضاء فى المستقبل .

وكان برنامج الجاذبية المعد للسنة الجغرافية الدولية يشمل كل أنحاء العالم بنسب متعادلة وتم تحقيقه بنجاح ملحوظ واضح . وكان الهدف العام لهذا البرنامج هو عمل مزيد من خرائط الجاذبية الكاملة للأرض كلها، وقدر العلماء أن تحقيق هذا الهدف سيقدم لهم صورة أدق وأوضح عن حجم الأرض وشكلها وتوزيع كتلها. وكان علماء الطبيعة الأرضية يتوقون إلى معرفة أمر بعينه، وهو التغيرات الحقيقية فى الجاذبية من خط الاستواء إلى المناطق القطبية .

ولكى يصل الباحثون إلى أقصى استفادة ممكنة فى برنامجهم المرسوم كان من الضرورى إقامة نقط مراقبة تقوم بالقياس على امتداد خطوط الطول . وكان من الضرورى كذلك إيجاد معيار دولى للجاذبية يستطيع علماء الدول المختلفة الرجوع إليه والمقارنة به للوصول إلى أدق النتائج الممكنة وقد امتدت النقط من « بوينت بارو فى ألاسكا » إلى « بونتا إريناس فى شيلى ، ومن « أوتاوا فى كندا » إلى « بوينس إيرس فى الأرجنتين » ، ومن « أسلو فى النرويج » إلى « كيب تاون فى جنوب أفريقيا » ومن « سابورو فى اليابان إلى ما كمورد وسوند فى القطب الجنوبى » .

وكانت دراسة حركات المد والجزر فى سطح الأرض نفسها جزءاً له أهمية غير عادية فى برنامج أبحاث الجاذبية فى السنة الجغرافية الدولية . فكما تسبب الشمس والقمر حركات المد والجزر فى مياه المحيطات فهما أيضاً يجعلان الأرض تنبعج وتنعكس فى دورات منتظمة . فسطح كوكبنا يرتفع فعلاً وينخفض فى حركة مد وجزر دورية ، وتقيس أجهزة الجاذبية الشديدة الحساسية مد الأرض وجزرها وهو ما لا نستطيع إدراكه أبداً بأى طريقة أخرى . فهذه الأجهزة تستطيع تسجيل أى تغيير فى مقدار الجاذبية حتى ولو لم يزد على واحد فى البليون ، وهذا تقريباً هو التغير الذى تسجله أجهزة قياس الجاذبية فعلاً إذا ما ارتفع سطح الأرض ثمن بوصة .

ويعلق علماء الطبيعة الأرضية أهمية كبيرة على قراءات أجهزة الجاذبية الخاصة بالمد والجزر لسطح الأرض ، لأن هذه القراءات تحدد مقدار المرونة فى القشرة الأرضية ، ولهذا تضمن برنامج السنة الجغرافية الدولية بناء ١٣ محطة لقياس المد الأرضى حول العالم . وكان لهذه المحطات هدف رئيسى هام هو أن تحدد إذا أمكن العلاقة الزمنية بين المد أو الجزر والقوة التى تحدثهما . ومن النتائج الهامة التى توصل إليها الباحثون فى هذا المجال أن المد أو الجزر فى سطح الأرض لا يحدث مطلقاً فى وقت حدوث المد أو الجزر فى مياه المحيطات . ونتيجة أخرى عرفوها أنه هى فى فترات معينة من السنة كما فى فصل الربيع مثلا ، ينتفخ سطح الأرض بما يصل إلى ثلاث بوصات . ووصلوا إلى إكتشاف آخر هام هو أن جزيرة هونولولو ترتفع وتنخفض حوالى أربع بوصات فى اليوم الواحد .

وقد حقق الباحثون عدداً كبيراً من أهدافهم فى أبحاث الجاذبية خلال السنة الجغرافية الدولية ، ولكن جزءاً كبيراً من أعمالهم قد امتد إلى أبحاث عام ١٩٥٩ . ويصدق هذا بصفة خاصة على القياسات المتعلقة بالبحار فنظراً لصعوبة الحصول على البواخر الكافية لأبحاث الجاذبية خلال السنة الجغرافية

الدولية فقد امتدت هذه الأبحاث إلى ما بعد انتهاء السنة نفسها . ونظراً لكثرة البيانات التى سجلها العلماء عن الجاذبية خلال السنة الجغرافية فإن العمل فى تحليل هذه البيانات مازال مستمراً حتى الآن .

وكان هناك كشف فريد نتج عن أبحاث الجاذبية خلال هذه السنة ويتصل بشكل الأرض. ولم يكن هذا الكشف غريباً فيما أتى به من معلومات غرابته فى الطريقة التى تم بها، فقد جاء عن طريق القمر الصناعى فانجارد الأول وقد أطلق هذا القمر فى رحلته إلى الفضاء فى السابع عشر فى مارس عام ١٩٥٨. ولاحظ العلماء بعد فترة قليلة أن القمر لم يتبع تماماً المدار الذى قدروه له . لقد توقعوا أن تكون أبعد نقطة عن الأرض فى نصف الكرة الجنوبى . ولكن ما حدث هو العكس تماماً . واحتار العلماء فى تفسير هذه الظاهرة الغريبة وأدى بهم البحث فى النهاية إلى القول بأن شكل الأرض نفسها ليس كما هو معتقد .

كان الشائع عند علماء الطبيعة الأرضية لزمن طويل أن الأرض تشبه فى شكلها مجسم القطع الناقص . ولكن رحلة فانجارد فى الفضاء جعلتهم يعيدون النظر فى هذا الاعتقاد . فالأرض ، بالإضافة إلى إنها أهليلجية فهى فى الوقت نفسه على شكل الكمثرى . وبينت المعلومات المستقاة من مدار فانجارد أن مستوى سطح البحر فى المناطق القطبية الشمالية أعلى بخمسين قدماً عن القياسات السابقة كما أن مستوى سطح البحر فى المناطق القطبية الشمالية الجنوبية أقل بخمسين قدماً عنه فى القياسات السابقة، وهذه الأرقام تعنى أن شكل الأرض أقرب إلى المخروط فى نصف الكرة الشمالى وأقرب إلى الانبعاج فى نصف الكرة الجنوبى، أى أن الأرض تقريباً كمثرية الشكل .

وقد أثبتت قياسات الجاذبية التى أخذت فيما بعد بالأجهزة التقليدية فوق غطاء جليد القطب الشمالى وفى قارة أنتاركتيكا بخاصة فى القطب الجنوبى، صحة الكشف الذى قام به فانجارد .

خطوط الطول وخطوط العرض :

كان الهدف الرئيسى من الدراسات التى أجريت خلال السنة الجغرافية الدولية على خطوط الطول وخطوط العرض هو الوصول إلى مزيد من الدقة فى تحديد المواضع على كوكب الأرض ، وكان المنتظر أن تؤدى المعلومات التى يحصل عليها إلى تحسين الخرائط . وكان العلماء تواقين كذلك إلى التأكد من الموضع الدقيق للقارات المختلفة. وكان الخبراء الذين يعتقدون أن قارات الأرض تتزحزح ويقترب بعضها من بعض ، يرجون أن تساعدهم الأجهزة الجديدة البالغة الدقة للتحقق مما إذا كانت نظريتهم صحيحة أم خاطئة .

وثمة هدف من بين أهداف دراسات خطوط الطول والعرض شبيه بالأهداف المتعلقة بالجاذبية وهو الوصول إلى تحديد أدق لشكل الأرض. وبالاضافة إلى هذا فإن المعلومات المجموعة قد تساعد فى تحديد مدار القمر بشكل أدق وفى وضع معيار أكثر دقة لقياس الزمن .

لقد قسم الانسان سطح الأرض منذ وقت طويل بخطوط وهمية سميت خطوط الطول وخطوط العرض . وتدور خطوط الطول حول الأرض مارة بالقطبين . وخط الطول المار بجرينتش بانجلترا هو الخط الأساسى فى هذه الخطوط . ويتم تحديد بقية الخطوط منسوبة إلى شرق هذا الخط أو غربيه . وخطوط العرض دوائر وهميـــة حول الأرض موازية لخط الاستواء .

وعن طريق هذا التقسيم أصبح من السهل على الانسان نسبياً أن يعرف طريقه من مكان إلى آخر . وكان الإنسان يستعين فى أسفاره بالشمس والقمر والنجوم ، كما استعان بالكرونومترات (أجهزة قياس الوقت) وغيرها من الأجهزة ليحدد مواقع الأجرام السماوية ، ولكن مع ذلك فلم تكن الخرائط الأولى التى وضعها الإنسان على أساس المعلومات المستقاة

من السياحات الكبرى فى العالم صحيحة كل الصحة ، لأن أجهزة القياس فى تلك الأيام لم تكن على درجة كبيرة من الدقة .

وكان شكل الأرض غير المنتظم مسئولاً عن وجود أخطاء فى هذه القياسات ، فقد تسبب الانبعاج عند خط الاستواء والفرطحة عند القطبين فى إحداث خطأ وإن يكن طفيفاً إلا أن له أهمية فى الأميال المكافئة لدرجات العرض . فالدرجة الواحدة فى دوائر العرض تساوى ٦٨,٧٠٣ ميلاً عند خط الاستواء ولكن نظراً لانحناء سطح الأرض فإن هذا الرقم ليس واحداً فى كل الأماكن. فعند القطبين تزيد الدرجة وتصل إلى ٦٩,٤٠٦ ميلاً ومع تقدم طرق القياس وأجهزته وزيادة الإلمام بصورة تضاريس الأرض أصبحت مقاسات خطوط الطول والعرض أكثر دقة . وكانت النتيجة أن تحسنت الخرائط .

وفى الوقت الحاضر ، تحدد الأماكن على أساس خطوط الطول والعرض بدقة كافية . وقد سهل هذه العملية استخدام الكرونومترات الدقيقة لدرجة غير عادية واستخدام إشارات الوقت اللاسلكية. والكرونومترات الحديثة أكثر دقة وأعظم ثباتاً من دوران الأرض الذى كان فى وقت ما المعيار النهائى لكل توقيت . بيد أن الإشارات الزمنية اللاسلكية قد حلت محل الكرونومترات خصوصاً فيما يتعلق بتسجيل الملاحظات الفلكية التى تحتاج لمعيار أدق من معايير الوقت .

وبالرغم من الدقة العالية التى وصلت اليها الخرائط الجغرافية اليوم إلا أنها ما زالت فى حاجة إلى تعديل وتحسين . وقد وضحت هذه الحقيقة فى الحرب العالمية الثانية حينما اكتشف أن كثيراً من المواضع غير موجودة فى الأماكن التى تحددها الخرائط الجغرافية . فقد اتضح مثلا أن عدداً

من الجزر فى المحيط الهادى كانت تبعد عن موقعها المحدد جغرافياً على الخرائط بحوالى ميل كامل تقريباً .

والعلماء ينشدون الدقة دائماً فى كل أعمالهم . واكتشاف خطأ كهذا يجعلهم غير راضين وفى حالة من الشك . وبالرغم من أن هذه الأخطاء قد تبدو صغيرة إلا أنها قد تكون خطيرة جداً بالنسبة للطائرات التى تسير بسرعات عالية وخاصة الطائرات النفاثة، فإن أى خطأ بسيط فى الخريطة يبعد الطائرة عن هدفها أميالاً عديدة .

وخلال أبحاث السنة الجغرافية الخاصة بخطوط الطول والعرض إستعان العلماء بجهازين جديدين كانا تحت تصرفهم وذلك للوصول إلى درجة أعلى من الدقة. وأحد هذين الجهازين هو المسمى آلة تصوير المعدل المزدوج لوضع القمر. أما الجهاز الثانى فهو المعروف باسم إصطرلاب دانجون غير الشخصى Danjon Impersonal Astrolabe أما آلة تصوير موضع القمر فقد صممت لتركب على تلسكوب وهى من اختراع العالم الأمريكى الدكتور وليام ماركوفتش الذى يعمل بالمرصد البحرى ونستطيع بواسطة عدستها المزدوجة متابعة سير القمر والنجوم المحيطة به فى آن واحد وبذا يظل وضع القمر والنجوم فى علاقة بصرية صحيحة بالنسبة لبعضهما البعض حتى يحصل صور واضحة لكل منهما . ومن حساب زمن التعريض يستطيع العلماء تحديد موضع القمر بالنسبة لمجموعة الكواكب المحيطة به بسرعة وفى دقة . وقد استعملت إحدى وعشرون آلة تصوير من آلات المعدل المزدوج خلال السنة الجغرافية فى خمسة عشر مرصداً موزعة حول العالم .

وقد استخدمت الحسابات (وهى هندسيـــة خالصة) المبنية على الملاحظات المأخوذة بآلة تصوير ماركوفتش فى المراصد المختلفة لتحديد خطوط الطول والعرض بدقة تامة دون تدخل قوى الجاذبية . وقد قللت هذه الحسابات من الخطأ فى القراءات الخاصة بالمسافات بين القارات حتى

أصبح لا يتجاوز مائة أو مائتى قدم فقط . وهذا يعنى الوصول إلى درجة من الدقة أكثر كثيراً من ذى قبل .

وساعدت آلة تصوير المعدل المزدوج لوضع القمر أيضاً فى الحصول على معلومات استخدمت فى تعيين مدار القمر نفسه بدرجة بعيدة من الدقة. كما أعطت قياسات عن حجم وشكل الأرض كذلك . وساعدت فى آخر الأمر على خلق معيار أكثر دقة للوقت الفلكى . ويعلق العلماء أهمية عظمى على معرفة الزمن. وكان المعيار الأخير اختباراً موثوقاً به لعدم انتظام دورة الأرض . ومن المنتظر أن تؤدى هذه الطرق الجديدة إلى دور هام فى إنتاج الساعات الذرية التى توصل إليها العلماء أخيراً والتى تعمل بدقة متناهية .

ويختلف الجهاز الثانى اختلافاً كلياً عن الجهاز الأول إذ يقوم على نظرية الحصول عل المعلومات عن طريق الرصد الفلكى وهو مكون من حوض من الزئبق ومنشور زاويته ٦٠ درجة . وحينما يوجه هذا الجهاز نحو نجم ما فإنه يقدم له صورتين . واحدة منهما صورة مباشرة والأخرى منعكسة . وحينما تنطبق الصورتان معاً فإن هذا يعنى أن النجم يميل على الأفق بزاوية قدرها ٦٠ درجة . وفى هذه اللحظة يتحدد القياس دون وجود أى احتمال فى الخطأ .

وعن طريق قياس عدد من النجوم بهذه الطريقة وفى أماكن متعددة يستطيع العلماء تحديد خطوط الطول والعرض بدقة بالغة . وقد صمم الجهاز فى الواقع بحيث لا يسمح إلا بخطأ يقل عن خمسة أقدام فقط . . وقد ساعد الجهازان فعلاً على نجاح أبحاث السنة الجغرافية الدولية وعلى تحديد مواقع عدد كبير من الجزر فى المحيط الهادى بدقة بالغة .

الزلازل والبراكين :

لقد جاب الإنسان سطح الأرض لآلاف لا تحصى من السنين، وعلى ذلك

فهو لا يعرف عن باطن الأرض أكثر مما يعرفه عن جوف الشمس أو عن الكواكب الأخرى التى تبتعد عنا بملايين الأميال. ولا يرجع هذا الوضع الغريب إلى أى نقص فى حب الاستطلاع ، فهو موجود بنسبة عالية ولكن المشكلة الرئيسية كانت هى عـــدم استطاعة الإنسان التغلغل فى باطن الأرض . وحتى الآن لم تزد المسافة التى توغلها الإنسان فى باطن الأرض على أربعة أميال . وهى أكبر بعد وصل إليه فى حفره لآبار البترول . وحينما نقارن هذه المسافة بنصف قطر الأرض الذى يصل إلى أربعة آلاف ميل نجد أنه لا يزيد على رأس دبوس . .

وفى قديم الأزمان حاول العلماء معرفة المزيد عن باطن الأرض عن طريق دراساتهم للمحاجر وللمناجم العميقة لكنهم لم يحرزوا تقدماً يذكر فى هذا المجال ، ولم تخرج معظم الاستنتاجات التى توصلوا إليها عن كونها نظريات فى حاجة إلى الإثبات . ثم قفز عملهم فى هذا المجال قفزة واسعة نحو الأمام فى أواخر القرن التاسع عشر حينما عرفوا أنهم بدراستهم للزلازل وبخاصة الموجات الاهتزازية الصادرة عنها يمكن أن يعرفوا الكثير عن طبيعة باطن الأرض وتكوينه . وهكذا نشأ علم الزلازل . وقبل أن نمضى فى وصف برنامج السنة الجغرافية الدولية لهذا المجال من العلوم ، فإننا نلخص باختصار المعلومات التى حصل عليها العلماء قبل السنة الجغرافية .

إن الأرض التى نعيش عليها ليست صلبة كما تبدو لعين غير الخبير ، فمن قلف قشرتها بعيداً إلى أسفل توجد قوى عملاقة تعمل باستمرار ، وتتولد ضغوط ضخمة وجهود عالية نتيجة لاحتكاك طبقات الأرض وضغط بعضها على بعض . وفى مستويات أخرى تحت القشرة توجد جيوب عظيمة للغاية للحرارة والضغط تحمى مراجل من الصهارة السائلة ، وهذه هى صخور منصهرة تسمى بعد صولها إلى السطح « اللابة » ومن آن لآخر تظهر لنا

طبيعة الأرض المقلقة وباطنها غير المستقر فى صورة الهزات الأرضية والزلازل المروعة والبراكين النارية .

وحينما تصل الضغوط والجهود الموجودة فى باطن الأرض إلى نقطة الانفجار تنشأ الزلازل فتنزلق كتل ضخمة من الصخور المجهدة فجأة لتأخذ أوضاعاً جديدة. ويطلق على المواضع التى تحدث فيها هذه الأحداث الجائحة إسم « الصدوع » وقد تظهر هذه الصدوع أحياناً كشقوق ضخمة فى سطح الأرض ، وقد حدث صدع منها فى « سان أندرياس » بكاليفورنيا وكان طوله ٦٠٠ ميل وهو يعد نموذجاً لهذه الصدوع . وقد أحدث الإنزلاق الذى تتابع على فترات فى صخور هذا الصدع عدداً كبيراً من الهزات الأرضية فى كاليفورنيا كما أحدث حالة ذعر بين السكان فى هذه الولاية .

ويقدر علماء الزلازل عدد الهزات التى تتعرض لها الأرض سنوياً بحوالى مليون هزة ، ولكن الغالبية العظمى فى هذه الهزات ضعيف جداً ومن الممكن إهماله فلا يقع غير عشر هزات يمكن اعتبارها خطرة كل عام . وينشأ عن هذه الهزات خسائر فى الأرواح والممتلكات .

ويطلق على النقطة تحت سطح الأرض التى تتولد فيها الزلازل إسم البؤرة ومن هذا المركز تنشر الموجات الاهتزازية فى كل إتجاه . وليست الهزات كلها من نوع واحد بل إن خصائصها تختلف وتتباين .

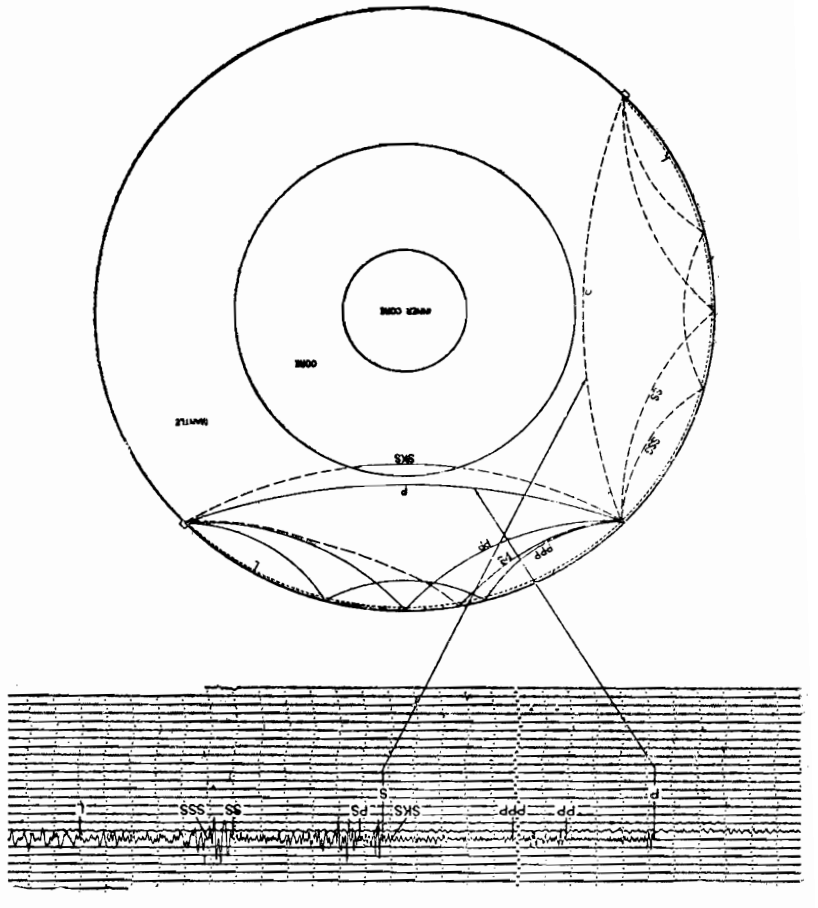
وهناك ثلاثة أنواع رئيسية لهذه الهزات :

أولها : هزات أولية .

وثانيها : هزات ثانوية .

وثالثها : هزات سطحية .

وتشبه الهزات الأولية موجات الصوت فى الهواء . فهى تنتشر بسرعة فى الأرض بالضغط والبسط . وهذه الموجات قوية جداً وتستطيع



رسم يوضح سير موجات الزلزال .

وفى أعلاه ترى « السسموجراف » الذى سجلته آلة السسمومتر موضحا المعلومات عن الزلزال .

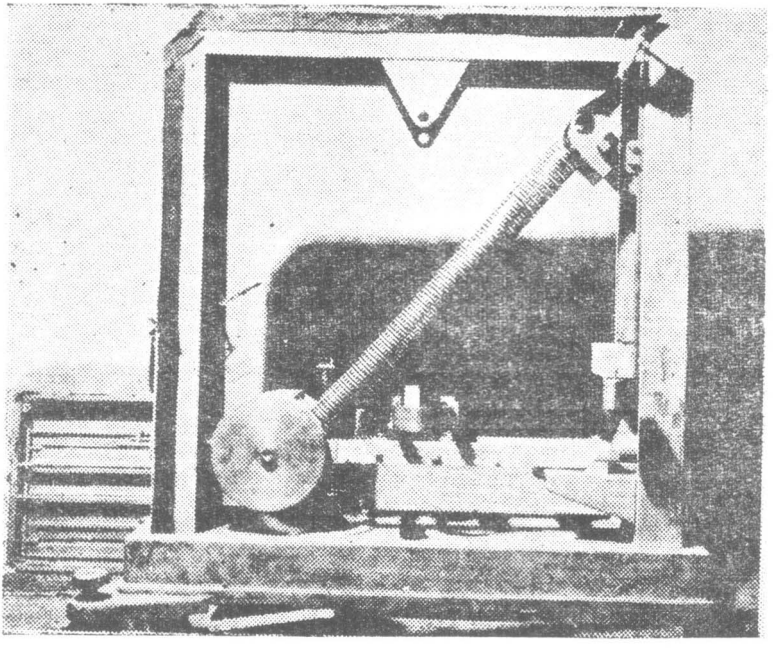
اختراق المواد الصلبة السائلة والغازية وهى تنتشر خلال جسم الأرض نفسه ولهذا يطلق عليها فى بعض الأحيان إسم موجات « جسمية » وهى تشبه الموجات الثانوية فى كثير من الصفات . .

أما الموجات الثانوية فإنها تنتشر كموجات الضوء فى اهتزازات عامودية على خط انتشارها ويطلق عليها عادة إسم الموجات العرضية . وهى أبطأ من الموجات الأولية إذ تصل سرعتها إلى ثلثى سرعة الموجات الأولية فقط كما تختلف عنها أيضاً فى أنها لا تنفد من السوائل .

والنوع الثالث من الموجات هو الموجات السطحية وترتبط عادة بسطح الأرض إلى عمق عشرين ميلاً منه . .

وقد كانت سرعة موجات الزلزال من المباحث الهامة التى درسها العلماء كما كان للعمق الذى تسير فيه ولطبيعة المواد التى تسير خلالها أثر هام فى تحديد حركتها ونوعها . . وفى بعض الأحيان تقوم طبقات معينة من باطن الأرض بعكس الموجات وتحويلها إلى طبقات أكثر كثافة قبل أن تصل إلى سطح الأرض العلوى . ولا تزيد سرعة الموجات الابتدائية على ٨ من الأميال فى الثانية وذلك على عمق ١,٨٠٠ ميل . وحينما تقترب هذه الموجات من المناطق الصخرية فإن سرعتها تقل إلى ثلاثة أميال فقط فى الثانية ولكنها تظل قادرة على تكملة رحلتها على قطر الأرض البالغ ثمانية آلاف ميل فى عشرين دقيقة . أما الموجات السطحية فتنتقل إلى النقطة المقابلة لها على سطح الأرض من الجهة الأخرى فى ٨٥ دقيقة . .

ويعرف الجهاز المستخدم فى تسجيل الزلازل باسم « السيسمومتر » والعجيب أن هذا البحث الرقيق يحتاج إلى جهاز كبير للغاية يتكون أساساً من بندول معلق فى إطار خارجى يثبت فى الأرض ويكون ذلك عادة فى صخر القاع . وعندما تصل موجات الزلزال إليه تتسبب الإهتزازات



آلة السيسمومتر المستعملة لتسجيل الزلازل الطويلة المدة وهى موجودة بمرصد « لامونث » الجيولوجى التابع لجامعة كالفورنيا .

فى ارتفاع الجهاز وانخفاضه ، ويؤدى ذلك بالكرة المعلقة فى نهاية البندول من أسفل إلى الحركة، ثم يقاس الفرق بين حركة الإطار وذبذبة كرة البندول ويسجل عن طريق جهاز ملحق بالسسمومتر ويقوم بالتسجيل على ورق تصوير حساس بواسطة سقوط شعاع ضوئى عليه أثناء الحركة عن طريق تخطيط قلم مثبت يرسم تلقائياً على ملف من الورق . وتسمى البيانات المسجلة بالسسموجراف (الخط البيانى للزلزال) .

وبهذه الآلات وبالدأب على دراسة البيانات التى نسجلها استطاع العلماء أن يعرفوا كثيراً من الحقائق عن باطن الأرض . وقد تقدمت فى الأيام الأخيرة بصفة خاصة آلات الكشف عن الزلازل وكذلك طرق تحليل المعلومات التى تسجلها . ومن بين الطرق الحديثة طريقة إحداث تفجيرات صناعية غالباً ما تكون عن طريق استعمال الديناميت وإن كانت التفجيرات الذرية تستعمل فى بعض الأحوال النادرة وتؤدى هذه التفجيرات إلى حدوث الأنواع الثلاثة من موجات الإهتزاز كالزلازل ، إلا أن أهم فارق بينهما هو أن الهزات الناجمة عن التفجير الصناعى لا تصل إلى العمق الذى تصل إليه موجات الزلزال ومع هذا فقد استطاع العلماء الإفادة منها فى جمع المعلومات عن المنطقة التى تنتشر فيها من القشرة الأرضية . .

وقبل السنة الجغرافية كان العلماء قد توصلوا إلى رسم صورة مدهشة للتكوين الداخلى الأرض . وقد أسفرت دراسة هزات الزلازل عن أن جسم الأرض يتكون من عدة حلقات أو طبقات دائرية وأن الطبقة الخارجية التى تعيش عليها تسمى القشرة وتليها طبقة أطلقوا عليها اسم « الغلاف » ، وهو مكون من أربع طبقات متميزة . وقد قدروا أن هذا الغلاف يشمل ٨٠ ٪ تقريباً من حجم مواد الأرض وأن قاعدته على مسافة ١٨٠٠ ميل تحت القشرة الأرضية .

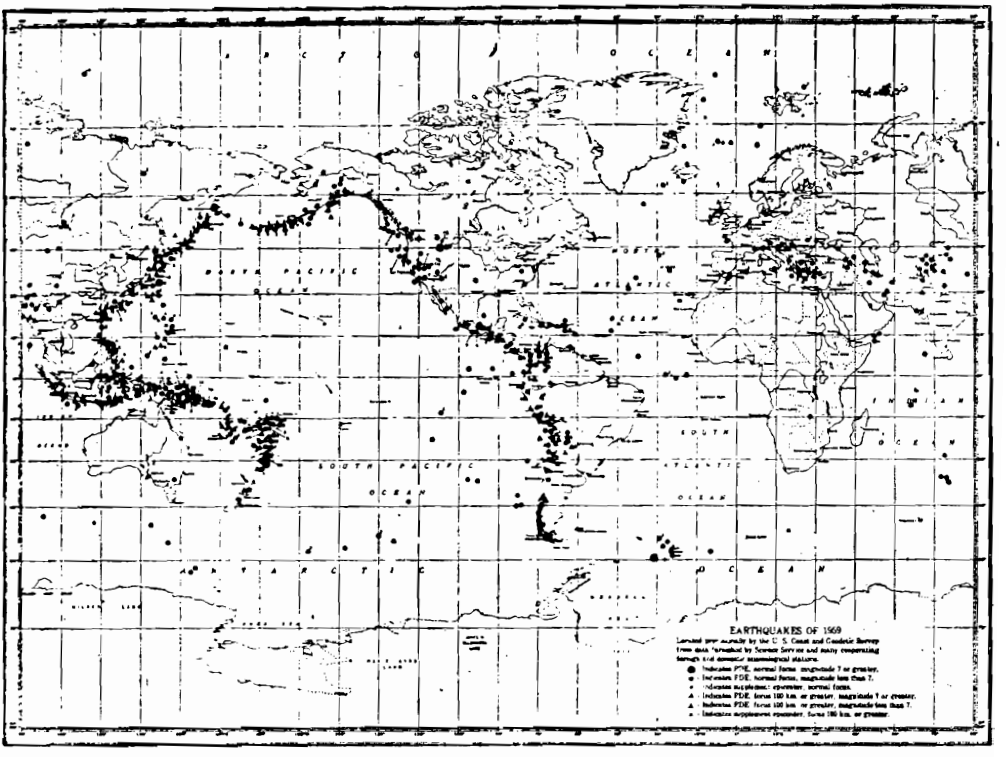
وبين الغلاف والقشرة توجد طبقة حدود رقيقة تعرف باسم « ثغرة

موهوروفتش » نسبـــة إلى العالم الكرواتى ا . موهوروفتش الذى اكتشفها فى عام ١٩٥٩ وهو يتتبع زلزالا فى وطنه البلقان وعلى عمق ٢٠ ميلا من القشرة تقريباً . وفى أوائل عام ١٩٦٠ استعد العلماء لعمل ثقب يصل إلى هذه الطبقة لدراسة مركباتها وبنيتها، وعرف هذا النشاط فى البحث العلمى باسم « مشروع موهو » .

وتحت الغلاف يوجد باطن الأرض (الكتلة الداخلية) ويتكون من ثلاث طبقات قطرها نحو ٤٠٠ر٤ ميل. وقد تبين أنه يتألف من طبقة سائلة خارجية ثم تليها طبقة عازلة رقيقة ثم اللب الذى يعتقد العلماء أنه مكون من مادة صلبة .

ونظراً لضخامة وزن المواد المكونة منها هذه الطبقات المتحدة المركز، فإن الضغط الذى تحدثه على مركز الأرض عال جداً، وقد قدره العلماء بما يساوى ثلاثة ملايين وخمسمائة ألف مرة الضغط الجوى عند سطح البحر وهو ما يعادل ١٥ رطلا على البوصة المربعة تقريباً . وللسبب نفسه — الوزن الثقيل — نجد أن درجة الحرارة فى باطن الأرض عالية جداً وحتى الآن لم يصل العلماء إلى تحديدها بدقة إلا أنهم يقولون إنها تتراوح ما بين ٢٠٠٠ و ٦٠٠٠ درجة فهرنهيت .

وقد كانت أبحاث الزلازل من أهم وأنجح ما تم من بحوث خلال السنة الجغرافية الدولية . وزادت المعلومات التى جمعها العلماء عن باطن الأرض بدرجة جعلتهم يمحون الصورة القديمة الموجودة فى أذهانهم عن باطن الأرض ويستبدلونها بصورة أخرى جديدة . وقد اشترك فى أبحاث السنة الجغرافية الدولية علماء من ٥٢ دولة ، وزعوا على ٣٢٥ محطة أقيم بعضها فى مناطق لم يشملها بحث من قبل كقارة أنتاركتيكا . وقد قدمت المنطقة القطبية الجنوبية معلومات هامة فى هذا المجال . ولما كانت هذه المنطقة حتى ذلك الوقت نقطة فارغة فى إطار المعرفة الجغرافية فقد أوليت عنـاية خاصة خلال السنة الجغرافية وسنناقش الانتصارات التى



خريطة للعالم توضح مراكز الزلازل فيه

أحرزت فى هذه المنطقة بالتفصيل مع بقية الاكتشافات الأخرى التى وصل إليها العلماء خلال السنة الجغرافية الدولية .

وقد أولى العلماء عناية خاصة خلال السنة الجغرافية إلى بحث القشرة الأرضية سواء فى البر أو تحت البحر واعتمدوا أساساً على التفجيرات التى أحدثوها ليحصلوا على البيانات والمعلومات. كما أولوا اهتماماً مماثلاً للغلاف الداخلى الذى درسوه بتوسع عن طريق الزلازل وعن طريق جهاز سيسمومتر حديث عدل بحيث يسجل الهزات الطويلة المدى .

وقد حدد بدرجة أكثر دقة سمك القشرة الأرضية التى توجد فى منطقتين مختلفتين متميزتين هما سطح اليابس وقاع المحيط ، ووجد أن سمكها فى اليابس يتراوح بين ٢٢ و ٣٧ ميلاً وتتكون من جرانيت خفيف الوزن نسبياً أما تحت المحيط فقد ظهر أن سمك القشرة أرق إذ يتراوح بين ٣ و ٤ أميال ، ولم تعرف طبيعة قشرة الأرض تحت مياه المحيط على وجه التحديد ولكن المعتقد أنها مكونة من البازلت الأكثر كثافة من الجرانيت .

وبالرغم من أن السنة الجغرافية الدولية قدمت إجابات لعدد كبير من المعضلات التى واجهت العلماء إلا أنها أثارت أسئلة كثيرة كذلك . وكالعادة نشبت خلافات فى وجهات النظر بين العلماء حينما وضعت هذه المشاكل على بساط البحث . وكان من المسائل التى ثار حولها كثير من الجدل الطريقة التى تقوم بها الجبال راسية فوق سطح الأرض ، وظهرت نظريتان متعارضتان تذهب الأولى إلى أن قاعدة الجبال تغوص بعيداً فى الغلاف الداخلى وتبرز منه لكونه أساساً متيناً ومن ثم تؤدى إلى أن تصبح الجبال طافية فى الطبقة التى تحت القشرة الأرضية، تماماً كما يطفو الجبل الجليدى فوق مياه المحيط . وتؤيد الأغلبية فى الوقت الحاضر هذه النظرية .

وتذهب النظرية الأخرى إلى أنه من قاعدة الجبال تمتد شبكة من الجذور الدقيقة غائصة فى الطبقة التى تلى القشرة وهى التى تحافظ على بقاء الجبال راسية فوق سطح الأرض . وتتفق النظريتان على أنه كلما ارتفعت الجبال تضخمت كتلتها فى داخل الأرض .

وقد قام فريق من العلماء باستخدام سلسلة جبال « الأنديز » الشاهقة فى شيلى وبيرو كمعامل خارجية بأن وضعوا أجهزتهم الحساسة على ارتفاعات مختلفة تتراوح ما بين ميل واحد وميلين ، وأحدثوا انفجارات صناعية فى مناجم النحاس القريبة باستعمال الديناميت بكميات تراوحت ما بين ٤٠ و ٦٠ طنا وأخذوا فى دراسة الموجات التى نتجت عن هذه الانفجارات .

وقد أدت هذه الدراسة بالعلماء إلى الدهشة إذ تبين لهم أنه ليس من الضرورى أن تكون الجبال الباطنية أعظم كلما كان الارتفاع أعلى فقد أظهرت الآلات أن قمماً شاهقة فى هذه السلسلة كانت جبالها أقل غوصاً فى الأرض من أخرى أقل منها ارتفاعاً ومن ثم قضت هذه الدراسة على فكرة إيجاد نسبة محددة بين الطول والعمق .

وكانت جبال الأنديز كذلك حقلاً لنوع آخر من أبحاث الزلازل مختلف تمام الاختلاف تتطلب جهازاً جديداً لدراسة قشرة الأرض هو الأكستنسومتر أو « سيسمومتر الجهد » الذى ابتكره معهد كاليفورنيا التكنولوجى . وقد صمم الجهاز ليكشف ويقيس ذبذبات الاهتزازات الطويلة المدى والتشوه البطىء فى قشرة الأرض ، ويتم تحديد هذا التشوه على أساس تغير المسافة بين منطقتين متجاورتين خلال فترة من الزمن . وفى استطاعة الجهاز أيضاً أن يقيس الجهد فى قشرة الأرض وهى تتشوه بحركات المد الأرضى العظيم الكتلة .

ويتكون جهاز « الأكستنسومتر » من قضيب من الكوارتز طوله

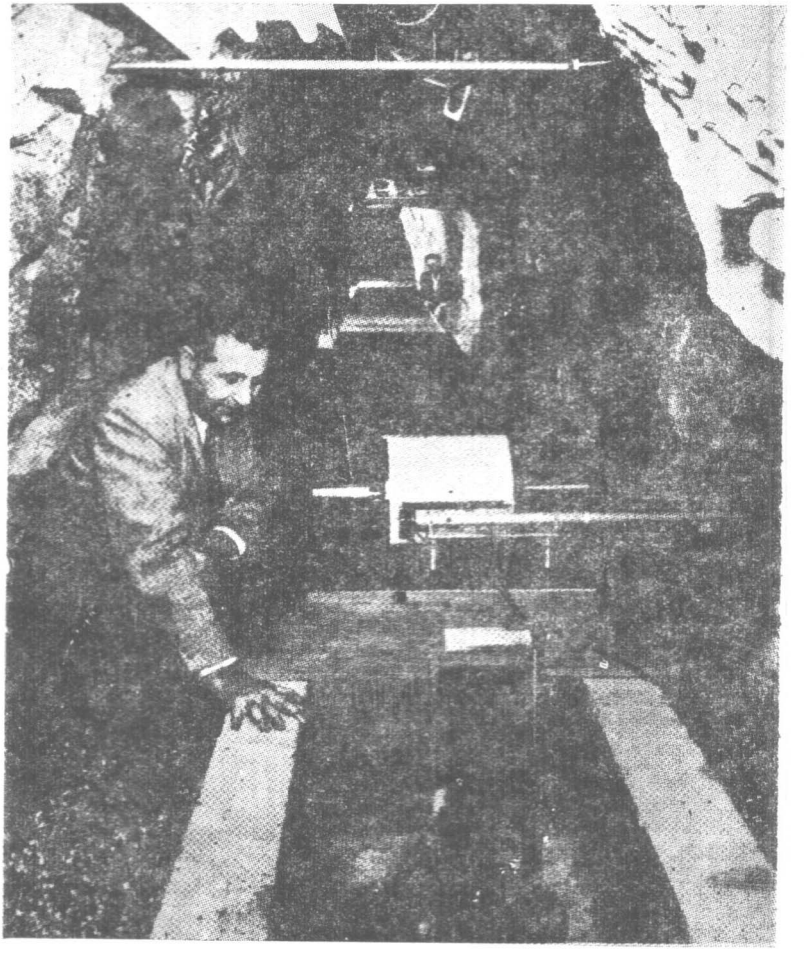
٨٠ قدماً ، وقطره ٥ر٢ بوصة وهو مثبت بين نقطتين (إحداهما عادة قاعدة صخرية) ومزود بجهاز مغناطيسى حساس لدرجة عظيمة تمكنه من الكشف عن أى تغيير يحدث فى القضيب إلى جزء من مليون من البوصة . وقد وضع جهازان من هذا النوع فى أنفاق عميقة فى جبـــال « الأنديز » بالقرب من سنتياجو فى شيلى . . وتشوزيكا فى بيرو .

وقد أفاد الجهازان فائدة لاتقدر فى قياس قوة الشد فى القشرة الأرضية ومعرفة اتجاهات الضغوط ، كما ساعدا فى الحصول على معلومات عن ليونة القشرة ولدونتها وكشفا عن العملية التى يبدأ بها الزلزال .

ولا بد لأبحاث الزلازل التى تستخدم سيسمومترات الجهد من جهد مضنٍ ووقت طويل ، ولقد كانت السنة الجغرافية الدولية بداية فقط لهذه الأبحاث ولذا فإن المهتمين بها من العلماء يأملون فى أن توصلهم المعلومات التى جمعت عن الشد والزلازل فى منطقة ما إلى إمكان التنبؤ عن الزلازل فى هذه المنطقة قبل حدوثها . .

وقد طبق العلماء هذا الأسلوب نفسه من الدراسة على الهضاب كما فعلوا بالجبال وكانت هضبة « كولورادوا » فى الولايات المتحدة وهضبة المكسيك هما حقلى التجارب حيث أجريت فيهما عدة تفجيرات. ولما أن أنتهت التجارب أسقط فى يد العلماء ، إذ لم تتفق النتائج التى حصلوا عليها مع ماجمعوه من معلومات سابقة بقياس الجاذبية وبدراسة موجات الزلازل السطحية . لقد كان سمك القشرة الأرضية تحت الهضاب أقل كثيراً مما سبق أن قدروا ومن ثم بدأ يساورهم الشك فيما اعتقدوه لزمن طويل من أن الهضاب كالجبال عائمة فى القشرة الأرضية يدعمها مجموع جذر غائص فى أعماق المداخل .

وعلى أساس هذه المعلومات الجديدة أسس فريق من العلماء نظرية



الدكتور هيجو بنيوف من معهد التكنولوجيا بكالفورنيا يقوم بتشغيل آلة السسمومتر التى وضعت فى جبال الأنديز خلال السنة الجغرافية الدولية لتسجيل وقياس التغيرات التى تعترى السطح الأعلى للقشرة الارضية .

مختلفة جديدة، فهم يذهبون إلى أن الهضاب ربما تكون قد اندفعت فى قشرة الأرض كأنما تندفع فى عجين — كما قال أحد علماء الزلازل — نتيجة عملية انتفاخ فى القشرة أو طبقات أخرى أسفلها . وقد يكون مثل هذا التسنم قد أحدثته تغيرات كيميائية فى صخور المنطقة أو عن طريق ارتفاع زائد فى درجة حرارة منطقة معينة من باطن الأرض .

وما زال باطن الأرض (الغلاف الداخلى) لغزاً أمام العلماء . ومع أن المعلومات التى جمعوها عنه قد كشفت بعض الشىء فما زالوا يجهلون كثيراً من الحقائق جهلاً تاماً بل إنهم مازالوا حتى الآن يجهلون المواد التى تكون هذا الغلاف ؛ وقد بذلوا جهوداً جبارة أثنـــاء السنة الجغرافية الدولية لمعرفة المزيد عنه ، وكان من بين ما عرفوه على وجه التأكيد أن الطبقة الثانية تبدأ على مسافة ٣٠ ميلاً من سطح قاع المحيطات و ٦٠ ميلاً من سطح اليابس . وما زال علماء الطبيعة الأرضية يأملون أن يحل مشروع « موهو » مزيداً من الألغاز . وقد اهتم علماء آخرون بالبحث للحصول على مزيد من المعلومات عن الزلازل والبراكين وأصل تكوين الجبال خلال أبحاثهم فى السنة الجغرافية الدولية . وتحدث الزلازل كما سبق أن أوضحنا فى المناطق التى تكثر فيها الإنكسارات الضخمة والصدوع فى القشرة الأرضية . وتحدث هذه عندما تتزحزح طبقات الصخور الداخلية لتتخلص من الضغوط والجهود العالية . وقد جلت أبحاث السنة الجغرافية الدولية كثيراً من المعلومات السابقة عن هذه الانكسارات وانتهت بالعلماء إلى تقسيمها إلى ثلاثة أنواع رئيسية :

الأولى منها تظهر فى صورة أخاديد قريبة من خطوط سواحل القارات وتمتد فى قاع المحيطات كأودية ضخمة ، ويقطع الصدع طريقه تحت الكتلة القارية فى زاوية قدرها ٣٠° درجة ، ويواصل امتداده على هذا الخط إلى عمق ٢٨٥ ميلاً فى الغلاف الداخلى ، ثم ينثنى إلى أسفل إنثناء

حاداً بزاوية قدرها ٦٠ درجة حتى يصل إلى نهاية عمقها وهى ٤٣٠ ميلاً فى داخل الغلاف الداخلى .

ويحدث النوع الثانى من العيوب مكوناً أخاديد موازية لمجموعات الجزر المحيطية ، ويبدأ العيب من الجانب البحرى للجزر ثم يغوص إلى أسفل بزاوية حادة قدرها ٦٠° درجة حتى يصل أيضاً إلى عمق ٤٣٠ ميلاً فى داخل الغلاف الداخلى .

أما النوع الثالث فهو مرتبط بالماء أيضاً ، ويوجد فى الجبال الموجودة فى قاع المحيطات وتمتد إنكسارات هذا النوع عمودية إلى باطن الأرض ، ولكن هذا الإنكسار ليس بأعمق الإنكسارات الأخرى إذ يتراوح عمقه بين ١٥ و ٢٠ ميلاً .

وقد اهتم العلماء إلى حد بعيد بالبراكين للخطر الذى تكونه نتيجة لما تلفظه من الحمم المنصهرة التى تطغى على المناطق المجاورة لها فتدمرها وتقضى على مظاهر الحياة فيها . وقد طالما تساءل العلماء عن مصدر هذا الصخر المنصهر وافترضوا عدة نظريات حول أصله ، ولكن لم تكن واحدة منها كافية بكل الأغراض ، وقد أجريت دراسات جديدة حول الموضوع خلال السنة الجغرافية الدولية ولكننا لم نخرج منها بشىء محدد أكثر من أنها حصرت اللغز فى ثلاث نظريات فقط .

ويرى بعض العلماء أن الصهارة « الماجما » (وهى اللافا قبل أن تصل إلى سطح الأرض) تنشأ فى أبعاد سحيقة فى الطبقة الثانية من الغلاف الداخلى، فى حين يناهض بعض العلماء هذا الرأى ويعتقدون أن الصخور المنصهرة تتكون إما عند جذور الجبال أو مجاورة لقاعدة تلك الصخور فى المناطق الأخف من الغلاف الداخلى. ويعتقد علماء الطبيعة الأرضية الذين يساندون هذا الرأى الأخير كذلك أن الصهارة التى تتكون تحت سطح قاع المحيط هى نتيجة تغيرات فى الضغط والحرارة فى قاع الجبال البحرية .

وهنـاك رأى ثالث ليس أقل شيوعاً حول أصل الصهارة « الماجما » يذهب إلى أن حركة الصخور فى الأرض هى السبب. فعندما تحتك طبقة من الصخور مع أخرى فى منطقة الانكسارات تتولد من الاحتكاك حرارة عالية تذيب الصخر . .

ومهـا يكن مصدر الصهارة والطريقة التى تتكون بهـا ، فهى تنتج بكميات خياليـة ، وعندما تفور مخترقة القشرة الخارجية للأرض فأنهـا تنتشر على مسافة واسعة منها . وهناك كثير من الجزر فى المحيط الهادى ظهرت نتيجة البراكين ثم اتسعت رقعها نتيجة لتوالى تدفق اللابة . وجزر هواى مثال طيب لهذا المظهر من فعل البراكين .

ومن الموضوعات الشيقة التى تتناولها دراسة قشرة الأرض موضوع الجبال . لمـاذا تتكون الجبال وكيف تتكون ؟ وهذا الموضوع كغيره من الموضوعات التى تتعلق بالظواهر الطبيعية الخاصة بالأرض تثير كثيراً من الأسئلة التى لاتجد إجابة عنها وتتباين الآراء بخصوصها. وقد خصصت بعض برامج أبحاث السنة الجغرافية الدولية لإلقاء مزيد من الضوء على هذا الموضوع .

كان العلماء قديماً على شبه اتفاق بالنسبـة لأصل الجبال ويرجعون به إلى بداية تكوين الأرض. وكان الاعتقاد أن الأرض بدأت كـكتلة غازية ساخنة وخلال دورانها عبر السنين بردت تدريجياً وتقلصت القشرة الخارجية وانـكمشت ونجم عن ذلك تـكوين الجبال والأودية .

وقد ساعد الضغط داخل الأرض من ناحية أخرى على تـكوين الجبال، ففى المنـاطق التى تـكونت منها سـلاسل الجبال كان هناك اندفاع مستمر لا يمكن مقاومته لطبقات الصخور أدى إلى نمو الجبال. وكان الضغط الداخلى فى بعض الأحوال هو وحده الذى ولد الجبال .

واعتقد العلماء كذلك لزمن طويل أن أسمك أجزاء القشرة الأرضية هو الذى يقع أسفل أكبر الجبال ارتفاعاً وأن أقل الأجزاء سمكاً فى القشرة هى الواقعة تحت أقل الجهات ارتفاعاً وظنوا كذلك أن الهضاب جبال قديمة جداً منهكة كانت تغوص ببطء فى الأرض .

وفى السنين الأخيرة وجد علماء الطبيعة الأرضية أن من العسير الأخذ بهذه الآراء فى ضوء المكتشفات الحديثة وبخاصة الحقائق العديدة المدهشة التى إكتشفت خلال السنة الجغرافية الدولية فقد اكتشفوا على سبيل المثال أن بعض الهضاب كانت ترتفع فى الواقع بدلاً من أن تنخفض كما هى الحال فى هضبة كولورادو التى أثبتت القياسات أن سطحها قد ارتفع نحو ميل فى الأربعين مليون سنة الماضية .

وعلم العلماء أيضاً أن أقل الأجزاء سمكاً فى قشرة الأرض — على عكس اعتقادهم القديم — ليس دائماً تحت أكثر الجبال ارتفاعاً . وقد اكتشفوا مستعينين — بمقاييس الزلازل الصوتية — أن القشرة الأرضية تحت سلسلة جبال مغمورة فى قاع المحيط الهادى بالقرب من «جزيرة إيستر» رقيقة جداً على عكس ما كانوا يتوقعون . وأثبتت القياسات التى أجريت فى السهول المنخفضة فى ولاية أركانساس بالولايات المتحدة أن القشرة الأرضية أكثر سمكاً من المعدل . والواقع أن أسمك قطاع فى القشرة الأرضية فى الولايات المتحدة قد اكتشف لا تحت سلاسل جبال « الروكى » أو الأبلاش كما كانت تذهب النظرية القديمة بل فى منطقة لا تبعد كثيراً عن التلال السوداء فى داكوتا الجنوبية ، وهى منطقة أقل ارتفاعاً من مناطق الجبال المذكورة .

وعلى ضوء هذه الاكتشافات غير المتوقعة وعلى مكتشفات أخرى تتصل بالقوى البدئية التى كانت تعمل عندما ولدت الأرض ، ظهرت افتراضات جديدة ولم تعد النظرية القديمة التى تقول بأن الأرض بدأت كرة ساخنة من السديم تحتل المكان الذى كان لها من قبل ، وأخذ العلماء الآن يميلون

شيئاً فشيئاً إلى أن الأرض بدأت تتكون تحت ظروف باردة للغاية ناتجة عن سحابة من غازات كونية شديدة البرودة ولم تأخذ تسخن إلا فيما بعد، وهى عملية لا تزال مستمرة حتى الآن . أما منشأ هذه السخونة فيرجع جزئيا إلى الحرارة المنبعثة من المعادن المشعة فى الأرض وإلى الحرارة الطبيعية الموجودة فى باطنها . ويقطع العلماء المؤيدون لنظرية النشأة الباردة لكوكبنا ثم سخونتها فيما بعد بأن الأرض لم تنكمش على الإطلاق وبالتالى لم ينقص حجمها عما كان عليه عند بدء تكوينها ويقولون إنه لو فرض أن حدث شيء من هذا لكان ذا أثر واضح على الجبال .

وهناك عدة تعديلات لهذه النظرية هى الآن محل جدل بين العلماء . فيذهب بعضهم إلى القول بوجود تجمعات ضخمة من الصخور المنصهرة فى الطبقات الدنيا من الغلاف الداخلى ، وتؤدى الحرارة إلى أن تتحول هذه الصهارة فى ممرات شبه عمودية إلى القشرة الأرضية. وتحت الضغوط العظيمة التى تنشأ عن الحرارة العالية للصهارة تنتفخ القشرة وترتفع مكونة السلاسل الجبلية . وتتحرك الصهارة أيضاً وهى تسيل إلى أعلى على جانبى السلاسل الجبلية فى شكل مروحى وتبرد ، وتؤدى برودتها إلى أن تثقل فتغوص ثانية فى باطن الأرض . وتجذب الصهارة معها وهى تغوص جزءاً من القشرة وهكذا تكون الأخاديد الهائلة . ويطلق العلماء على حركات الصخور المنصهرة هذه إلى أعلى وإلى أسفل إسم « التيارات الحرارية بالحمل » .

وهذه النظرية يؤيدها بخاصة علماء الطبيعة الأرضية وعلماء البحار الذين يركزون اهتمامهم فى الدراسة على الظواهر الأرضية الموجودة فى قاع البحار. وقد اكتشفوا خلال السنة الجغرافية الدولية ما يؤيد الفرض الذى قامت عليه هذه النظرية فقد وجدوا أن درجة الحرارة على قمة جبل مغمور فى المحيط دفعته إلى أعلى الصخور المنصهرة أسفله ، أعلى من درجة الحرارة فى أخدود عميق فى قاع المحيط . وقد أقنعهم مثل هذا الاكتشاف بأن عملية تكوين الجبال لا تزال مستمرة تحت المحيطات .

وهناك نظرية أخرى تقول : إنه بمرور الزمن كانت عوامل التعرية تنحت فى الكتل القارية وا كتسحت الرواسب إلى الأخاديد العميقة التى تحف بالقارات ، وصهرت الحرارة العالية جداً الخارجة من الغلاف الداخلى تحت الأخاديد الرواسب فجعلت الأجزاء الخفيفة منها تندفع إلى أعلى على شكل فقعات هائلة . وأدى انزلاق الصخور وعوامل التآكل إلى خلق طبقات من الصخور متراكبة وأخاديد عميقة وانتهت هذه الظواهر فى النهاية إلى نحت سلاسل من الجبال على الطبقة الظاهرة من الأرض. ويعتقد مؤيدو هذه النظرية أن العملية لاتزال مستمرة .

وبالرغم من أن الدراسات التى تمت خلال السنة الجغرافية الدولية بخصوص الزلازل والبراكين لم تنته إلى تقرير نهائى بالنسبة للنظريات ، إلا أنها أدت إلى اكتشافات أوضحت كثيراً من المعلومات ستشغل بال العلماء دهراً طويلاً فى أبحاث ليجدوا لهذه الظواهر التعليل العلمى .