المـــــاء

سر الحياة ومعجزة الخالق

تأليف

طومسون كينج

ترجمة

زكريا فهمي

تقديم ومراجعة

د. عزالدين حسن

الكتاب: الماء .. سر الحياة ومعجزة الخالق

الكاتب: طومسون كينج

ترجمة : زكريا فهمي

تقديم ومراجعة: د. عزالدين حسن

الطبعة: ٢٠١٩

صدرت الطبعة الأولى عام ١٩٦٤

الناشر: وكالة الصحافة العربية (ناشرون)

٥ ش عبد المنعم سالم – الوحدة العربية – مدكور- الهرم – الجيزة

جمهورية مصر العربية

:

:

E-mail: news@apatop.comhttp://www.apatop.com

All rights reserved

جميع الحقوق ممفوظة: لا يسمح بإعادة إصدارهذا الكتاب أو أي جزء منه أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات أو نقله بأي شكل من الأشكال، دون إذن خطي مسبق من الناشر.

دار الكتب المصرية

فهرسة إثناء النشر

كينج ، طومسون

الماء .. سر الحياة ومعجزة الخالق / طومسون كينج ، ترجمة : زكريا فهمي ، تقديم ومراجعة: د. عزالدين حسن

– الجيزة – وكالة الصحافة العربية.

٤١٨ ص، ١٨ سم.

الترقيم الدولى: ٣ – ٩٢٧ – ٤٤٦– ٩٧٧– ٩٧٨

أ – العنوان رقم الإيداع : ٥١٦٢ / ٢٠١٩

الماء
سر الحياة ومعجزة الخالق

وكالة الصحافة العربية
«ناشرون»

تقديم

كتاب "**الماء معجزة الطبيعة**" ليس جديدا إذ صدرت طبعته الأولى بالإنجليزية في عام ١٩٥٣، وصدرت ترجمته للعربية في ١٩٦٤، لكن مثل هذا الكتاب لا يفقد أهميته بالتقادم، فيمكننا تشبيه قيمته بالماء نفسه الذي يتجدد منذ بدء الخليقة عبر دورة لا تنقضي، ويمكن إرجاع تميز الكتاب لعاملين:

أولهما: موضوعه، فالماء صنو الحياة ولولا وجود الماء على كوكب الأرض لما كان صالحا للحياة.

وثانيهما: المؤلف نفسه، طومسون كينج، وهو في الأصل مهندس يهوى الأدب، جمع في شخصيته بين العالم والأديب، وقد ألف هذا الكتاب بعقل العالم وانضباط المهندس وأيضا بخيال الأديب، وقد انعكست شخصيته على تبويب الكتاب، فخصص الباب الأول لبحث الماء من حيث هو مادة فيزيقية، وهذا علم خالص وإن تدخلت الثقافة الأدبية للمؤلف في طريقة عرضه للمعلومات التي جاءت بأسلوب سهل وسلس، حتى أنه أورد فيها مقطعا من قصيدة لكبلنج: "أيتها الموجة النشوانة! والسحابة المنطلقة ! يا غضبة الأمطار العميقة المجدبة." أما الباب الثاني فرغم كونه علميا أيضا إلا أن الخيال تدخل فيه فانتقل من الماء إلى السفن

التي تسير فيه، ومن بخار الماء انطلق للحديث إلى الطاقة المتولدة عنه وكيف أسهمت في تغيير مسار الحضارة البشرية.

أصل الماء

يخبرنا العلماء أنه قبل أكثر من ١٣ بليون سنة بدأ خلق الكون من خلال انفجار كبير، لقد كانت درجة الحرارة بحدود ١٠ بليون درجة مئوية، ثم بدأ الكون بالتوسع وبدأت العناصر بالتشكل، وكان الهيدروجين هو أول العناصر تشكلاً باعتباره الأخف بين جميع العناصر في الكون؛ فذرَّة الهيدروجين هي عبارة عن بروتون يدور حوله إلكترون وحيد. ثم تشكل الهيليوم الذي تتألف ذرته من بروتونين وإلكترونين. وتشكلت أيضاً العناصر المشعة التي تحوي ذراتها نيوترونات عديمة الشحنة.

بالنسبة لذرات الأكسجين فقد تشكلت في فترة لاحقة لأنها أثقل من الهيدروجين. فذرة الأكسجين تحوي ثمانية إلكترونات في مداراتها الإلكترونية. وقد وجد العلماء أن الماء على الأرض قد تشكل منذ بدايات تشكل الأرض، مع أن بعض الدراسات قد تشير إلى أن الأرض قد قُذفت بالمذنبات التي تحوي كميات كبيرة من الجليد .

الماء مصدر الحياة

يربط العلماء الحياة بالماء، ولذلك حيث توجد الحياة يوجد الماء والعكس صحيح. حتى إن العلماء بعدما عثروا على آثار للماء على

كوكب المريخ بدأوا يفكرون جدياً بوجود حياة على سطح الكوكب الأحمر. لأن لديهم اعتقاد جازم بأن وجود الماء لا بد أن يرتبط بوجود الحياة. إن الخلايا الإنسانية والحيوانية والنباتية تحوي كميات من الماء دائماً، وعند نقصان هذه الكمية إلى حدود حرجة فهذا يعني الجفاف والموت. ويشكل الماء ٩٠ % من وزن بعض الكائنات الحية، أما في الإنسان فيشكل الماء أكثر من ٦٠ % من وزن جسمه، إن الدماغ البشري يحوي ٧٠ % من وزنه ماءً، الرئتان تحويان نسبة ٩٠ بالمئة ماء، ونسبة الماء في الدم ٨٣ %، ولذلك فإن الإنسان لا يستطيع العيش بصحة جيدة من دون ماء أكثر من يوم واحد. ولو تأملنا تصريحات العلماء نجدهم يؤكدون أن الحياة بالشكل الذي نعرفه لا يمكن أن تكون إلا بوجود الماء، حتى عندما نتأمل أكبر مواقع الفضاء في العالم وهو موقع وكالة الفضاء الأمريكية ناسا نجدهم يعرضون العنوان التالي: "Water is Life" وترجمتها تعني: "الماء هو الحياة".

إن ما يميز الأرض عن سائر الكواكب هو وفرة هذه المادة الفريدة الحيوية، فلولا الماء لما ظهرت الكائنات الحية بمختلف أصنافها وأنواعها. وقد أثبت علم الكيمياء الحيوية، أن الماء يمثل أكبر نسبة في تركيب الخلية التي تمثل اللبنة الأساسية في نسيج كل الأجسام الحية، وهو الوسيط الوحيد الذي ينقل الأملاح المعدنية والفيتامينات وغيرها من المواد المغذية للخلايا، كما أنه ضروري لحدوث كل التفاعلات الحيوية في جسم أي كائن حي.. وللماء دور كبير في تنظيم درجات حرارة كوكبنا، إذ يقوم بخار الماء

المتصاعد في السماء بامتصاص أشعة الشمس، ولو لم يكن للأرض غلافها الجوي الذي يحتوي على بخار الماء لانعدمت الحياة على سطحها.

التعريف العلمي للماء

الماء هو سائل شفاف لا لون له ولا طعم ولا رائحة، وهو ضروري لجميع أشكال الحياة، وهو تلك المادة التي تغطي ثلثي مساحة سطح الكرة الأرضية، وتتركب جزيئة الماء من ذرتي هيدروجين وذرة أكسجين، يرتبط بعضها مع بعض بروابط كيميائية قوية. وترتبط هذه الجزيئات أيضاً لتكوّن الماء، فكل خمسة آلاف مليون جزيئة ماء ترتبط لتشكل قطرة ماء واحدة. والماء هو المادة الوحيدة في الطبيعة التي توجد بحالاتها الثلاثة: الصلبة والسائلة والغازية. وتبلغ كثافة الماء ١٠٠٠ كيلو جراما على المتر المكعب، أي أننا إذا أخذنا خزاناً من الماء سعته متر مكعب فإنه سيزن ١٠٠٠ كيلو جراما، وذلك عند درجة الحرارة ٤ درجات مئوية. أما عندما يتحول هذا الماء إلى جليد فإنه يخفّ وزنه وتنخفض كثافته لتصبح ٩١٧ كيلو جراما على المتر المكعب، ويتجمد الماء عند الدرجة صفر مئوية، أما درجة غليانه فهي ١٠٠ درجة مئوية. ويعتبر الماء مادة مذيبة ممتازة لكثير من المواد الصلبة. ويغطي الماء بحدود ٧١ % من مساحة الكرة الأرضية أي ما يقارب ٣٦١ مليون كيلومترا مربعا ٩٧% من الماء على الأرض هو ماء مالح، و٣ % هو ماء عذب، وأكثر من ثلثي هذا الماء العذب يتوضع في القطبين الشمالي والجنوبي على شكل جليد وجبال جليدية.

أي أن الماء العذب الموجود في البحيرات والأنهار والينابيع والآبار لا يشكل إلا أقل من ١ % من الماء على هذا الكوكب. وللماء قدرة عالية على تخزين الحرارة، ولذلك فهو يلعب دوراً مهماً في تغيرات المناخ والتوازن البيئي. ويأخذ الماء أشكالاً متعددة في الطبيعة، فهو يظهر على شكل مياه في الحالة السائلة كما في البحار والأنهار، ويمكن أن يظهر بشكل صلب كما في الجبال الجليدية والمحيطات المتجمدة، ويمكن أن يظهر على شكل غاز، كما في بخار الماء الموجود في الجوّ، أو الغيوم الموجودة في طبقات الجو. كما يمكن أن يظهر الماء على شكل رطوبة أو قطيرات صغيرة من الماء مختزنة في تراب الأرض. وبسبب التركيب المميز لجزيء الماء فإن الماء يبدي تماسكاً جيداً، فلو تأملنا جزيء الماء نجد أن ذرتي الهيدروجين تتوضعان على أحد أطراف ذرة الأكسجين، وبالتالي يبقى الطرف الآخر أكثر سلبية مما يجذب إليه جزيئاً آخر وهكذا تكون قوى التماسك بين جزيئات الماء كبيرة.

ألوان الماء

يمتص الماء الأشعة تحت الحمراء بشدة، وبما أن الأشعة تحت الحمراء قريبة من الأشعة الحمراء في الطيف الضوئي، فإن الماء يمتص قسماً من الأشعة الحمراء، وهذا ما يجعل الماء يبدو مائلاً إلى اللون الأزرق عندما ننظر إليه في البحيرات والمحيطات. وعندما ننظر إلى البحر في يوم غائم فإننا نلاحظ أن لون الماء يميل للأزرق، وهذا يعني أن اللون الأزرق ليس ناتجاً عن انعكاس لون السماء.

إن وجود الصخور الكلسية في مجرى النهر مثلاً تحول لون الماء إلى الفيروزي، بينما وجود صخور حديدية تجعل لون الماء يميل للأحمر والبني، أما الصخور التي تحوي مركبات نحاسية فإنها تلون الماء بالأزرق، وأخيراً فإن وجود الطحالب في الماء يميزه بلون أخضر. وهناك مواد تذوب في الماء بسهولة مثل الأملاح وتسمى المواد المحبة للماء، وهنالك مواد لا تذوب جيداً في الماء مثل الشحوم والزيوت، وتسمى المواد غير المحبة للماء.

حالات الماء

كما قلنا، تبلغ كثافة الماء في الحالة السائلة ١٠٠٠ كيلو غراما لكل متر مكعب، وعندما يصبح جليداً تصبح كثافته ٩١٧ كيلو غراما لكل متر مكعب. ويتميز الماء بحرارة نوعية عالية، أي أن الماء يحتاج لكمية حرارة كبيرة لرفع درجة حرارته، فالماء إذن يسخُن ببطء ويبرد ببطء. فكل غرام من الماء يحتاج إلى وحدة حرارية "كالوري" لرفع درجة حرارته درجة مئوية واحدة. وهذا يعني أن كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غراما واحدا من الماء من الدرجة صفر إلى الدرجة مائة مئوية، هي مائة وحدة حرارية. وهناك ميزة أخرى مهمة وهي أن الماء يحتاج لحرارة كبيرة حتى يتحول من حالة لأخرى فإذا أردنا أن نحول غراماً من الماء إلى بخار ماء، أي من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية فإننا نحتاج إلى ٦٠٠ كالوري، وذلك عند الدرجة ١٠٠ مئوية.

تخزين الماء

يصرح العلماء بأن المحيطات هي عبارة عن خزانات ضخمة للماء، وتبلغ كمية المياه المختزنة في المحيطات ١٣٣٨ مليون كيلو مترا مكعبا. وهناك حركة دائمة لمياه المحيطات تؤدي إلى تحريك كميات ضخمة من المياه المالحة حول العالم. وكمثال على ذلك تيار الماء الدافئ في شمال المحيط الأطلنطي الذي يقوم بدفع المياه في أعماق المحيط من خليج المكسيك باتجاه بريطانيا، ويبلغ متوسط سرعة هذا التيار ٤ كيلو متر في الساعة. ويحتوي الغلاف الجوي على نسبة من بخار الماء والغيوم بشكل دائم، وتبلغ كميات المياه الموجودة في الغلاف الجوي بحدود ١٢٩٠٠ كيلو مترا مكعبا. كما تعتبر الأنهار خزانات جيدة للماء، وعلى الرغم من مضي ملايين السنين على وجود هذه الأنهار فإن الماء لا يزال عذباً وصالحاً للشرب، والسرّ في ذلك هو أن هذا الماء في حالة حركة مستمرة، فالنهر هو وسيلة الاتصال بين الينابيع العذبة والمياه السطحية الناتجة عن الأمطار من جهة، وبين وماء البحر من جهة ثانية.

إذن هناك تحول دائم من الماء العذب إلى الماء المالح، وعلى الرغم من ذلك تبقى كميات المياه العذبة والمالحة متوازنة ولا يطغى هذا الماء على ذاك مع مرور آلاف الملايين من السنين، والكتل الجليدية على سطح الأرض تشكل خزانات مياه عذبة تذوب وتتدفق من خلال الأنهار. وقد يتسبب تدفق هذه المياه في حدوث الفيضانات والكوارث مثل حدوث بعض الانزلاقات الأرضية. وتختلف كمية المياه المذابة من فصل لآخر

حسب درجة حرارة الجو، وتكون كبيرة في أشهر الربيع؛ ولذلك فإن كمية المياه المذابة تؤثر على تدفق الأنهار وعلى كمية المياه الجوفية. لكن هل يعني ذلك أن الماء يتوفر دائما، بالطبع لا لذلك على الإنسان أن يبذل جهدا للحفاظ على المياه، أو لصيانتها بحسب تعبير الكتاب، ففي الفصل الأخير، "صيانة الماء.. صيانة للحياة"، ينقل المؤلف كعادته عن الشعراء، فيورد قول الشاعر "مليتون":

"لا تلق اللوم على الطبيعة! فقد قامت بدورها، وكل ما عليك هو أن تقوم، أنت، بدورك" فالماء ليس بحاجة إلى الإنسان، ولكن الإنسان لا يحيا بغير الماء. وإذا ما اختفت جميع أشكال الحياة من على وجه الأرض، فسيظل الماء بوصفة أبرز ظواهر الأرض وأهمها، وأكثرها دواما وستستمر المحيطات، والأنهار، والثلاجات، والأمطار، والثلوج في نحت، وتهيئة، وتشكيل سطح الكرة الأرضية. وليس هناك بديل آخر للماء بالنسبة إلينا وإلى جميع أشكال الحياة الأخرى. وبوسعنا أن نقول بحق أن كل أنواع اللحم ماء، وأن مصير البشرية مرتبط بالماء برباط لا ينفصم. وطالما كان الإنسان يسكن الأرض، فإن نجاحه وسعادته سيتوقفان، إلى حد كبير، على مدى حكمته ومدى حسن تصرفه في التحكم في الماء واستخدامه له.

د. عز الدين حسن

عن المؤلف والكتاب

ولد طومسون كينج Thomson King في مدينة هاوود Haewood بولاية ميريلاند الأمريكية. وعين منذ عام ١٩٥١ مديرا لأكاديمية علوم ميريلاند ببلتيمور. وقد تخرج في جامعة "ليهاي" Lehigh بمدينة "بيتليهيم" Bethelehem ببنسيلفانيا في عام ١٩٠٨، حيث حصل منها على بكالوريوس الهندسة الكهربية، ثم عين في شركة الإضاءة والطاقة الكهربية ببلتيمور حتى عام ١٩٢٢. وفي الفترة ما بين عامي ١٩٢٢ و ١٩٢٩، عمل مصمما ومنتجا لغلايات الغاز والفحم في شركة السخانات المعروفة باسم Peerles Heater Company ثم أصبح نائبا للرئيس، فمديرا عاما للشركة. وبعد ذلك عاد إلى العمل في شركة الإضاءة والطاقة الكهربية ببلتيمور إلى أن اعتزل العمل كمهندس في الشركات في يناير عام ١٩٥١، حيث شغل على الفور منصب أكاديمية العلوم ببلتيمور. وقد كتب "كينج"، فضلا عن هذا الكتاب، مقالات عديدة في المجالات العلمية تناولت كثيرا من الموضوعات الفنية والفلسفية.

ويهوى "كينج" أشعار شيكسبير، وتاريخ الحرب الأمريكية الأهلية، والشطرنج، وجمع الحفريات، وقام بإلقاء أحاديث ومحاضرات في موضوعات متنوعة.

أما فيما يتعلق بهذا الكتاب، فقد قسمه "كينج" إلى بابين: يتناول

الباب الأول الماء مباشرة من حيث هو مادة: فبين خواصه، وسلوكه في حالات الثلاث الصلبة، والسائلة، والغازية.. ثم يبحث الطريقة التي استطاع الماء بفضلها جعل الحياة ممكنة على الأرض، وماذا فعل ويفعل من أجل تشكيل الأرض والحياة. أما الباب الثاني فيتناول ما فعله الإنسان، ويفعله للماء، وكيف انتفع به، وما الذي يتعين عليه أن يتخذه بشأنه إذا ما أراد أن يعيش سعيدا في المستقبل.

والكتاب مكتوب بأسلوب سهل، حاول المؤلف أن يبتعد فيه قدر الإمكان عن المصطلحات الفنية المعقدة، وهو يروي قصة الماء في جميع أشكاله – من محيطات، وأنهار، وسحب، وثلاجات– وما فعله للعالم والحياة. كما يروي أيضا قصة السفن، والصراع من أجل السيطرة على البحار، وكيف أدى البخار والطاقة المائية إلى تغيير مجرى الحضارة كلها، وتزويد الإنسان بوسائل الراحة والرفاهية التي لا حدود لها.

وقد نشر الكتاب تحت عنوان "الماء معجزة الطبيعة" لأول مرة في عام ١٩٥٣، ثم أعيد طبعه في عام ١٩٦١.

الباب الأول

الماء والعالم

الفصل الأول

ما هو الماء؟

الماء أهم المواد اللازمة للحياة كما نعرفها على الأرض، وأكثرها شيوعا وروعة على الإطلاق، ومع ذلك لا يعرف أغلب الناس عنه إلا النزر اليسير. على أن البعض قد يودون معرفة المزيد. ولهؤلاء نقول أن الحياة والماء في هذا الكوكب شيئان متلازمان لا ينفصل أحدهما عن الآخر؛ فالحياة بدأت في البحار الأولى السحيقة في القدم، ولاتزال الغالبية العظمى من الكائنات الحية تسكن المحيطات. أما الأرض الخالية من الماء فلا حياة فيها. والماء أعظم المذيبات: فالبرتوبلازم، وهو مادة الحياة، ماهو إلا محلول ذائب أو معلق في الماء. ويتكون أكثر من ثلاثة أرباع أجسامنا من الماء، أما عالمنا فهو ما صنعه الماء. والواقع أن حياة الإنسان ورفاهيتة مرتبطان بالماء ارتباطا وثيقا لا ينفصم.

أليس من الغريب حقا أن هذا الكوكب، قبل ظهور الحياة، لم يكن يحتوي إلا على الأرض الحديثة التكوين سائل واحد في درجات الحرارة العادية؟ ذلك لأن المادة التي وهبت الأرض الحديثة التكوين سائلا كانت المادة الوحيدة التي يمكن أن توجد أيضا في الحالتين الصلبة والغازية. صحيح أنه كان يوجد عدد من الغازات في الغلاف الجوي، وعدد لا حصر له من المواد الصلبة في القشرة الأرضية، ولكن الحالة السائلة التي تحتل

مكانا وسطا بين المواد الصلبة والغازية، لم تكن ممثلة في درجات الحرارة السائدة على سطح الأرض إلا بمادة واحدة فقط. هذه المادة الغريبة، العجيبة، الفريدة، هي الماء العادي، المألوف، الشائع. وكان أغلب الماء سائلا، ولكن كان هناك الكثير من الثلج والجليد، كما أن الغلاف الجوي كان يحتوي على كميات هائلة من الماء في حالة بخار. ولم تكن هناك سوائل أخرى سوى الحمم البركانية المنصهرة، التي لم يكن بوسعها أن تهيء ظروفا مناسبة لذلك النشاط الغامض الذي نطلق عليه اسم الحياة، سواء دبت هذه الحياة في نبات أو في إنسان.

وقد ظل الماء يعمل طوال مئات الملايين من السنين لإعداد الأرض لمجيء الحياة، فكان يقوم على الدوام بنحت الصخور وتفتيتها لتكوين التربة، وحمل المواد من الأرض لزيادة ما يحتويه من مواد ذائبة في المحيطات. كما قام بدور الملطف الذي خفف من حدة الحرارة والبرودة المتطرفة، وهيأ الطقس والظروف الملائمة لبدايات الحياة، ثم تولدت بذرة الحياة في الماء، وظهرت منه إلى عالم الوجود، ومنذ ذلك الحدث الغامض السحيق في القدم، أخذت الحياة والماء، بوصفهما شريكين، في تغيير وجه الأرض، ومنحها ضروبا لا حصر لها من التنوع والجمال. وقاما معا بخلق كثير من السوائل الأخرى وجميع الكائنات العضوية. كما قاما بكساء الأرض العارية بالحشائش والغابات والأزهار، ولولا هذه المشاركة (بين الماء والحياة) لظلت الارض دائما قاحلة مجدبة، كالقمر سواء بسواء. ويتميز الماء بتناقض خلاب، من حيث أنه أقرب المواد إلى المألوف وأبعدها عن المألوف في نفس الوقت. فهو أقرب إلى المألوف لأنه موفور وشائع. وهو أبعد عن

المألوف لأن صفاته وخواصه ومميزاته غريبة ونادرة وفريدة في بعض الأحيان.

وسوف أحاول أن أذكر، بإيجاز وبأسلوب خال من المصطلحات الفنية ما هو الماء وما الدور الذي يقوم به، وما هي خواصه العجيبة وعلاقته بالأرض وتأثيره عليها، وعلى الحياة التي تعمر الأرض بصفة خاصة. ومن الطبيعي أن يقع كتابي في بابين: يتناول أولهما الماء مباشرة بوصفه مادة، فيتحدث عن خواصها وسلوكها في الحالات الثلاث – الصلبة، والسائلة، والغازية– كما يتناول الطريقة التي استطاع الماء بواسطتها جعل الحياة أمرا ممكنا على الأرض، وكذلك ما قام ويقوم به نحو تشكيل العالم والحياة. أما الباب الثاني فيتناول ما فعله الإنسان ولا يزال يفعله للماء وبالماء، كما يتناول ما يجب عليه عمله إزاءه، إذا ما أراد أن يعيش سعيدا في المستقبل. ويستحيل علينا في مثل هذا الحيز الضيق الذي يشغله الكتاب أن نوفي الموضوع حقه تماما أو نتناوله بالتفصيل، ولذلك لا يسعني إلا أن أشير على المعالم الأكثر أهمية وطرافة، آملا في نقل قليل مما وجدته في الماء من متعة وروعة منذ أن بلغت من العمر ما يتيح لي تقدير خواصه الفريدة الغريبة حق قدرها.

وللإجابة عن السؤال الذي هو عنوان هذا الفصل، ينبغي أن أبدأ بذكر المعنى الذي سوف أستخدم فيه كلمة الماء؛ فالقاموس يقول أن الماء "سائل شفاف لا لون له ولا رائحة، ويتكون من الأيدروجين والأكسجين". ولكن هذا التعريف يفتقر إلى الإثارة والتشويق، كما أن كل ما فيه معروف

لديك من قبل، هذا بينما يكاد الماء يكون أهم المواد في العالم وأكثرها طرافة، وبينما لا يزال هناك الكثير مما لا تعرفه عنه، ما لم تكن خبيرا، وسوف نتناول الماء بأوسع معانيه وفي جميع حالاته، وسواء أكان هذا الماء في المحيط، أم كان جدولا متدفقا، أو جبلا جليديا، أو مرجلا بخاريا، أو سحابة، فهو ماء في نظر هذا الكتاب. وسيتعين علي أن أذكر قليلا عن الماء العسر، والماء اليسر، والماء الثقيل، وربما عن ماء الصودا. وللماء صور كثيرة، إذ أنه أكثر المواد تنوعا وأشدها تباينا. والواقع أن مظاهر الماء وصوره، هي أقرب الأشياء إلى المألوف، وأكثرها تنوعا وجمالا، من بين ما وهبته الطبيعة من أجل متعتنا وبهجتنا؛ فالجمال الشاعري الذي يكمن في السحب العالية الملبدة، وألوان السحب الرائعة عند الفجر والغروب، وحركة الثلاجات الجليدية الهائلة التي لا يقف أمامها حائل والتي غطت نصف قارة، وقوس قزح في شكله الرائع، وتناسق بلورات الثلج والصقيع في أشكال رقيقة متألقة، كلها صور للماء.

أيتها الموجة النشوانة! والسحابة المنطلقة!

يا غضبة الأمطار العميقة المجدبة...

"كبلنج"

إن كل ما ينطوي عليه المحيط من ضخامة وجلال وغموض، وتدفق موجات المد وانحسارها الذي لا ينقطع، وتلاطم الأمواج الشطية وهديرها

الراعد، وعظمة شلالات نياجارا وجلالها، والبخار الذي يحرك التوربينات في مصانعنا، وقطرات الندى فوق النجيل، كلها أيضا أشكال للماء.

والماء، قبل كل شيء، هو حامل الحياة وباعثها، إذ أن البروتوبلازم، وهو محلول لعدد من المواد معلق في الماء، هو الوسط الذي نشأت فيه جميع أنواع الحياة وارتكزت عليه. ولا يمكن أن يوجد بروتوبلازم بغير ماء، ولا حياة بغير بروتوبلازم. وليست الأجسام البشرية وحدها هي التي تتكون أساسا من الماء ولا يمكن أن توجد بغيره، بل يشاركها في ذلك أيضا جميع أشكال الحياة التي وجدت في أي وقت من الأوقات فوق هذا الكوكب، سواء أكانت حيوانات، أو نباتات، أو بكتيريا؛ لذلك ينبغي علينا أن نضيف إلى مظاهر الماء وصوره كل ما يوجد من جمال وجلال في الكائنات الحية، والسنابل المتموجة، والأشجار المثمرة والأزهار المتفتحة، والطيور المرفرفة، والأسماء القافزة، فلولا الماء ما وجد أي من هذه.

وليس الماء مادة الحياة فحسب، بل هو موطن الغالبية العظمى من الكائنات الحية أيضا. وسوف نرى في فصل قادم أن تسعة أعشار عدد النباتات والحيوانات، وكذلك تسعة أعشار كتلتها، ربما كانت تعيش في الماء. وقد بدأت الحياة في هذا الكوكب في أحضان المحيطات الأولى السحيقة في القدم، وإلى هذا الموطن الأصلي سيعود الجزء الأكبر من أجسام المخلوقات الأرضية، إن عاجلا أو آجلا.

والماء هو الفنان الذي ينحت سطح الأرض؛ فهو الذي قام بتشكيل وجه الأرض كلها بنفس الطريقة التي تعمل بها يد النحات في التمثال؛ فلا ثلاجات تقوم بحفر بعض الوديان وردم بعضها الآخر، وتكوين البحيرات وتغير مجرى الأنهار. أما الأمطار والمياه الجارية فهي منهمكة على الدوام في إزالة الجبال، وشق الوديان، وبناء السهول الفيضية.

والماء طريف ومثير دائما، سواء في ذلك الندفة الثلجية الرقيقة التي لا يمكن دراستها إلا بالمجهر، أو المحيط الهادي الذي يغطي أكثر من ثلث سطح الكرة الأرضية؛ فهو في يد كثير من خواصه بين المواد الكيميائية. وبعض هذه الخواص يجعله أعظم ملطف للطقس ودرجات الحرارة. كما يجعل الحياة أمرا ممكنا لنا وللمخلوقات والنباتات الأخرى التي تسكن سطح الأرض؛ فالماء الموجود في الهواء يدرأ عنا إشعاع الشمس الشديد نهارا، ويحجب عنا برد الفضاء الخارجي ليلا. والماء يجعل الحرارة دائما من أجزاء الأرض الساخنة الباردة، وبهذا يمنع حدوث التطرفات الحرارية التي لا يستطيع الإنسان تحملها.

والماء صديق الإنسان وعدوه، خادمه وسيده. فأحد الناس يموت في الصحراء لأنه لا يستطيع الحصول حتى على قطرات من الماء تحفظ له حياته، بينما يغرق آخر لأنه لا يستطيع الإفلات من الماء الزائد عن حده. ونحن نتحكم في الماء بواسطة المسالك والقنوات لتحويل الصحراء الجرداء إلى حديقة غناء، بينما هو يفيض في ظروف أخرى، ويتلف بيوتنا وحقولنا على الرغم منا.

ومن الواضح أن الماء ينطوي على أشياء كثيرة، بحيث أننا لا نأمل في هذا الكتاب الصغير إلا أن نذكر قليلا من الأمور الأكثر أهمية وطرافة. ويجدر بي قبل الكتابة عن معالمه البارزة وعلاقته بالحياة، أن أذكر شيئا عن العنصرين اللذين يتحدان لتكوينه، وعن الحالات الثلاث التي يوجد عليها، فالماء – من الناحية الكيميائية – مركب غير عضوي يتكون باتحاد عنصري الأكسجين والأيدروجين، وسوف لا أخوض في النواحي الفنية، غير أنه لكي نفهم ما هو الماء، وكيف يسلك، وما هي خواصه الفريدة الغريبة إلى أبعد حد، والأهم من ذلك كله، لكي نفهم كيف يؤثر في حياتنا، فإنه يتعين علينا معرفة شيء عن مصدرية الأصلين المتميزين بحق. فهو يرث صفات مميزة من كل منهما، ولكنه يختلف عنهما اختلافا تاما.

فالأكسجين واحد من أهم العناصر الكيميائية التي تكون كوكبنا ومن أكثرها توافرا؛ فهو يتضمن نحو نصف الماء الموجود في القشرة الأرضية، ويساهم بنحو ثمانية أتساع وزن الماء وخمس حجم الهواء. وللأكسجين – مثله في ذلك مثل أغلب العناصر – عدة أنواع من الذرات، تعرف بالنظائر. وتختلف نظائر العنصر في وزنها الذري، كما أن بعضها يكون مشعا، ولكنها تتماثل فيما عدا ذلك. وللأكسجين ثلاثة نظائر أوزانها الذرية: ١٦ و١٧ و١٨ [١]. ولما كان ٩٩.٨% من جميع ذرات الأكسجين من النوع الذي يبلغ وزنه الذري ١٦، فمن الممكن التغاضي عن النوعين الآخرين. وتتكون كل ذرة من ذرات الأكسجين من نواة

(١) الوزن الذري للعنصر هو وزن ذرته بالنسبة إلى وزن ذرة الأيدروجين، التي تتخذ وحدة للقياس. (المترجم)

تتألف من ثمانية بروتونات وثمانية نيترونات، تحيط بها ثمانية إلكترونات. ولن نحاول ذكر ماهية هذه الجسيمات، إذ ليس لأي منها تعريف مقنع [٢] والواقع أننا عندما نرجع القهقهرى إلى هذه الجسيمات نكون قد وصلنا إلى أحجار البناء الأساسية للطبيعة والكون. على أن الحالة الراهنة للمعرفة لا تتيح لنا أن نذهب إلى أبعد من ذلك. والأكسجين الطليق يوجد دائما في الأرض على هيئة غاز في الظروف العادية، وإذا برد تحت الضغط الجوي العادي إلى درجة ٢٩٧ تحت الصفر [٣] فإنه يصبح سائلا. أما إذا واصلنا خفض حرارته، فإنه يتجمد إلى مادة صلبة عند درجة ٣٦٠.٧ تحت الصفر.

والأكسجين – كغاز – عديم اللون، والرائحة، والطعم. وهذا الوصف يبدو سلبيا إلى حد ما، ولكن ليس هناك ما هو سلبي أو خامل في سلوك الأكسجين، ولا يمكن لأي فرد منا أن يعيش بدونه لأكثر من دقيقتين أو ثلاث. وهو أثقل من الهواء في الحالة الغازية، ومن الماء في الحالة

---

(٢) البروتون هو نواة ذرة الأيدروجين، وتزيد كتلته نحو ١٨٣٧ ضعفا عن كتلة الإلكترون. وهو يحمل شحنة موجبة تساوي شحنة الإلكترون السالبة في المقدار. أما النيوترون فتزيد كتلته قليلا عن كتلة البروتون، إذ تبلغ ١٨٣٩ ضعفا قدر كتلة الإلكترون، ولكنه لا يحمل شحنة كهربية. والإلكترون هو وحدة الكهرباء السالبة التي لا يمكن تجزئتها، ويدور في مدارات حول نواة الذرة الموجبة. وفي كل ذرة يتعادل مجموع الشحنات السالبة التي تحملها الإلكترونات مع مجموعات الشحنات الموجبة التي تحملها البروتونات. (المترجم)

(٣) ستبين درجات الحرارة في هذا الكتاب دائما بالدرجات الفهرنهايتية، ما لم يذكر غير ذلك، كما أن علامة الناقص التي تسبق الدرجة تعني أنها "تحت الصفر". ولكي تحول الدرجة الفهرنهايتية إلى الدرجة المئوية، عليك أن تتذكر أن الدرجة الفهرنهايتية تساوي ٩/٥ الدرجة المئوية، ولكن دجة الصفر المئوي تقابل درجة ٣٢ف. وعلى هذا الأساس فإن ٥٠ درجة في (٣٢ + ١٨) = ١٨ × ٩/٥، او ١٠ درجة م.

السائلة. ولون الأكسجين، في شكليه السائل والصلب، أزرق باهت. ولهذين الشكلين خاصية مغناطيسية، ولكنهما أقل كثيرا من الحديد في هذه الناحية.

وقد استخلص الأكسجين لأول مرة في حالة جيدة من النقاء في عام ١٧٧٤ على يد "بريستلي" Priestly، وهو قسيس إنجليزي له ميول علمية، ذهب إلى أمريكا فيما بعد. فقد توصل "بريستلي" إلى ذلك الكشف المهم المثير، ألا وهو أن النباتات النامية تطلق الأكسجين. واستخدم في ذلك جهازا بسيطا يتكون من إناء، وغصن من النعناع، وشمعة، وفأرين. فوضع شمعة مضاءة في طبقة عازلة للهواء حول الإناء؛ فوجد أن الشمعة انطفأت بعد أن استنفذت أكسجين الهواء الموجود في الإناء، ومات الفأر بسبب انعدام الأكسجين. ثم أدخل غصنا من النعناع في الإناء، فوجد بعد بضعة أيام أن الهواء تجدد واستعاد قدرته على حفظ الشمعة مشتعلة، وعلى إبقاء الفأر حيا.

وكانت هذه التجربة عرضا رائعا لعملية قابلة للانعكاس، ذلك أنه طالما كانت الشمعة تحترق، فإن أكسجين الهواء يتحد بكربون الشمعة وأيدروجينها لتكوين الماء (يد ٢ أ) وثاني أكسيد الكربون (ك أ٢). وعندما لا يتبقى قدر كاف من الأكسجين الطليق لدعم الاحتراق، تنطفىء الشمعة. ولكن عندما أدخل غصن النعناع، بدأ الكلوروفيل (اليخضور) الموجود في أوراقه، مستخدما طاقة الضوء الشمسي، في تفكيك ثاني أكسيد الكربون للحصول على الكربون وإعادة الأكسجين الطليق إلى

الهواء الموجود في الإناء. ويبدو أن "بريستلي" أخفق في إدراك أن طاقة الشمس الضوئية هي السبب في نجاح تجربته، وهكذا فاته كشف عظيم آخر استطاع العالم الهولندي "جان إنجنهوس" Jan Ingenhousz التوصل إليه حين أعاد التجربة بعد سبع سنوات.

وقد كتب "إنجنهوس" قائلا: "لقد وجدت أن عملية النباتات هذه (إعادة الأكسجين إلى الهواء) تكاد تتناسب في نشاطها مع وضوح النهار ومع مقدار تعرض النبات له، فهي تتضاءل كلما اقترب النهار مع نهايته، وتتوقف تماما عند الغروب، كما أنها لا تحدث بواسطة النبات كله، بل بواسطة الأوراق والسوق الكبيرة فقط".

والأكسجين عنصر اجتماعي إلى حد بعيد، إذ أنه على أهبة الأستعداد دائما للاتحاد بالعناصر الأخرى. والواقع أن هذا النشاط أمر تختلف فيه العناصر اختلافا كبيرا، حتى أن ستة منها يبلغ بها الترفع حدا لا تتحد معه بغيرها على الإطلاق. وهذه العناصر الستة [٤] غازات في درجات الحرارة العادية، ويندر وجودها في الأرض. وبعض العناصر مثل المعادن "النبيلة"، التي تشمل البلاتين والذهب، لها نشاط متخصص تماما، ولا تكون مركبات إلا مع قليل من العناصر الأخرى.

---

(٤) تعرف هذه العناصر بالغازات النادرة أو الخاملة، وهي: الهليوم، والنيون، والأرجون، والكريبتون، والزينون، والرادون (المترجم)

ومن الناحية الأخرى، نجد أن بعض العناصر تكون من النشاط بحيث لا توجد قط إلا في حالة اتحاد، كما أن من الصعب جدا فصلها أو استخلاصها منفردة.

وتنطلق الحرارة عادة عندما يتحد الأكسجين مع عنصر آخر أو مع مركب وعندما تنطلق الحرارة بسرعة تعرف هذه العملية بالاحتراق أو الاشتعال. والهواء هو أكبر مصدر للأكسجين اللازم للاحتراق. أما صدأ الحديد وغيره من المعادن ما يحدث في فرن الانصهار العالي: إذ يختزل خام الحديد، وهو أحد أكاسيد فهو عملية أكسدة بطيئة بدرجة لا نستطيع معها إدراك الحرارة المنطلقة منها، ومع ذلك فهذه الحرارة موجودة بالفعل. والاختزال هو عكس الأكسدة، وهو الحديد إلى الحديد الفلزي عن طريق تهيئة الفرصة لذرات الأكسجين المتقلبة كي تهجر الحديد وتنطلق مع ذرات الكربون.

وتتولد الحرارة التي تحفظ أجسامنا عند درجة ٩٨.٦، وكذلك الطاقة التي تحرك قلوبنا وتدعم كل حركة في أجسامنا، من التأكسد البطيء للطعام الذي نأكله بواسطة الهواء الذي نتنفسه. أما اللهب الذي يندلع في الموقد فهو عملية أكسدة سريعة للكربون والأيدروجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون والماء مع انطلاق قدر كبير من الحرارة. غير أن الهواء، وهو خليط يتكون من نحو ٢١% من الأكسجين و ٧٩% من النيتروجين، لا يعطي أكثر اللهب سخونة. لذلك نستخدم للحصول على لهب ساخن بحق من أجل لحام الصلب أو صهر معدن غاية في الصلابة، الأكسجين

والأيدروجين النقيين تقريبا، أو الأستيلين الذي يمكن أن يعطينا أسخن جزء في لهبة حرارة تبلغ ٦٠٠٠ درجة.

ولقد كان المشتغلون بالكيمياء القديمة، الذين كانوا في الواقع أول الكيميائيين، يعتقدون أن العناصر إما مذكرة وإما مؤنثة.. وفي اعتقادي أنه لو كان قد تسنى لهم معرفة الكثير عن العنصرين المولدين للماء، لنظروا إلى الأكسجين بوصفه الأب والأيدروجين بوصفه الأم. والأيدروجين ليس من بين العناصر الموجودة بكثرة في الأرض، كما أنه ليس نادرا أيضا. على أن جزءا كبيرا منه يوجد في الشمس والنجوم، ويبدو أنه أكثر العناصر توافرا في الكون. وأكثر نظائر الأيدروجين توافرا، وهو الذي يكون ما يربو على ٩٩.٩% منه، يحتوي على بروتون واحد وإلكترون واحد.

وهناك نظير آخر للأيدروجين، يعرف بالديوتيريوم deuterium، يتكون من الذرة العادية مضافا إليها نيترون، ولذلك فهو يكاد يكون أثقل مرتين من الأيدروجين العادي، وعندما تتحد ذرة من هذا النظير مع الأكسجين يكون الجزء الناتج أثقل من جزئ الماء العادي، ويعرف بالماء الثقيل، ولكن لا يوجد في كل ألف جزئ من جزيئات الماء سوي ثلاثة جزيئات من هذا النوع الخاص.

والأيدروجين هو العنصر رقم واحد في الجدول الذري، وذلك لأن تركيبه من بروتون واحد وإلكترون واحد يجعله أبسط تركيب ممكن للذرة. والهليوم الذي يتكون من بروتون وإلكترون، هو العنصر التالي في الجدول،

وتستمر قائمة العناصر حتى يصل عددها إلى الثمانية والتسعين، وهو رقم عنصر الكاليفرونيوم Californium الذي صنعه الإنسان، والذي يأتي في نهاية الجدول وبينما تحتوي جميع ذرات العناصر الأخرى على نيوترونات، فإن أكثر نظائر الأيدروجين توافرا لا يحوي أيا منها.

وقد اقترح "بروت" [٥] Prout في عام ١٨١٥ نظرية مؤداها أن جميع العناصر الأخرى تتألف من ذرات للأيدروجين يتحد بعضها مع البعض بطرق مختلفة. وفي تلك الأيام، لم يكن هناك من يعرف أي شيء عن التركيب الشديد التعقيد للذرات التي كانت تعد عادة بمثابة كرات دائرية صغيرة لا يمكن تجزئتها على الإطلاق، أما الآن فنحن نراها أشبه بالمجموعات الشمسية. وقد بدأ العلماء يدركون المشكلات التي تنطوي عليها الذرة في العقد الأخير من القرن التاسع عشر، وذلك حينما قال الأستاذ "هـ. أ. رولاند" H.A. Rowland أن الذرة لا بد أن تكون في تعقيد البيانو الكبير على الأقل. ولكنه كان معتدلا في قوله هذا، إذ أننا نعرف الآن أن أبسط الذرات إنما هي مركز لقوى تبلغ حدا من الضخامة لا يمكن تصوره بالمقارنة بحجمها. وليس هناك من يعرف كيف تبذل هذه القوى، ولا كيف تترابط الذرات مع بعضها البعض. وبينما نحن نعرف الكثير عن سلوك الذرات، فإننا نجهل تماما سبب هذا السلوك وكيفيته.

---

(٥) ويليام بروت (١٧٨٥ – ١٨٥٠) كيميائي وطبيب إنجليزي. أثبت وجود حامض الهيدروكلوريك المنفرد في العصارة المعدية، ووضع نظرية عرفت باسمه مؤداها أن الأوزان الذرية للعناصر هي مضاعفات لوزن الأيدروجين الذري. وأن العناصر تتكون بتكاثف أو تجمع ذرات الأيدروجين.
(المترجم)

والأيدروجين أخف العناصر، وذلك بسبب تركيب ذرته المفرط في البساطة؛ فوزنه الذري يبلغ واحدا فقط بالمقارنة بالأكسجين الذي يبلغ وزنه الذري ستة عشر. وهذه الصفة جعلته نافعا جدا بالنسبة إلى البالونات. والواقع أن الأيدروجين، باستثناء الهليوم الذي لم يتوافر بكميات معقوله إلا منذ وقت قريب جدا، هو المادة الوحيدة الأخف من الهواء بدرجة تجعل للبالونات أهمية عملية.

والأيدروجين، كالأكسجين، يكون غازا في درجات الحرارة العادية، ويتحول إلى سائل في درجة ٤٢٣، ويتجمد إلى جسم صلب في درجة ٤٣٤.٢ وهو أكثر نشاطا واستعدادا للاتحاد حتى من الأكسجين، إذ أنه يكون مركبات لا حصر لها مع كثير من العناصر، خاصة مع الأكسجين والكربون، وهما العنصران الأثيران لديه. وهو لا يوجد في الأرض بأية كميات كبيرة في الحالة الحرة، وربما كان الأمر كذلك في أي مكان آخر من الكون تنخفض فيه الحرارة بدرجة تسمح بتكوين مركبات.

ومنذ أن وجدت نباتات نامية على الأرض، كانت طاقة الشمس الضوئية التي تسقط على هذه النباتات لا تنفك عن شطر الماء إلى الأيدروجين والأكسجين، وتكوين مركبات للأيدروجين مع الكربون وغيره من العناصر لبناء الأوراق، والسوق، والفروع، والثمار. ومنذ أن تعلم الإنسان إشعال النار وهو لا ينفك يعكس هذه العملية البنائية عن طريق حرق المواد الأيدروكربونية الموجودة في الأخشاب والفحم وزيت النفط. وهو بهذه الطريقة إنما يستخدم طاقة الشمس الضوئية التي أنتجت منذ

ملايين مضت من السنين النباتات التي تكون منها الفحم، والنفط، والغاز الطبيعي.

وبواسطة هذه الطاقة المختزنة التي يمكن أن نطلق عليها اسم ضوء الشمس "المتحجر"، نقوم بتدفئة منازلنا، وطهي طعامنا، وصنع فولاذنا، وقيادة سياراتنا؛ فالشمس هي المصدر الذي نستمد منه الطاقة والقوة المحركة؛ إذ أن الطاقة المنطلقة من التفاعلات الذرية التي تحدث في أعماق الشمس تشق طريقها إلى سطحها، ثم تنطلق عبر الفضاء مسافة ٩٣ مليونا من الأميال لتضيء الأرض وتدفئها.

وكان "هنرى كافندش" Henry Cavendish أول من تعرف على الأيدروجين بوصفه عنصرا، وكان ذلك في عام ١٧٦٦ حين فصله وجمعه وأشعله في الهواء لتكوين الماء الذي كان يعتقد قبل ذلك أنه عنصر. وهكذا قدم كشفه وتجربته إلى العالم عنصرا جديدا، وأثبت في الوقت نفسه أن ما كان يعتقد أنه عنصر إنما هو مركب في حقيقة الأمر. وكان "كافندش" رجلا إنجليزيا ثريا غريب الأطوار إلى حد ما، إذ بلغ به الخجل حدا جعله يحجم حتى عن رؤية خادماته. ولكنه كان عالما عظيما توصل إلى كثير من الكشوف التي لم يعلن بعضها إلا بعد وفاته بوقت طويل. وقد أطلق اسمه على معمل "كافندش" الكبير بجامعة كمبردج، ذلك المعمل الذي أمكن التوصل فيه إلى كثير من أهم الكشوف في الفيزياء الحديثة. وتتكون جزيئات الأكسجين والأيدروجين من ذرتين. ويتحد جزئ من الأكسجين – عادة – مع جزئين من الأيدروجين لتكوين جزئين من الماء.

ولذلك يوجد في كل جزئ عادي من جزيئات الماء ذرة من الأكسجين واثنتان من الأيدروجين، وإذا رجعنا خطوة إلى الوراء، وجدناه يحوي عشرة من الإلكترونات، ومثلها من البروتونات والنيوترونات، وهذا أقصى ما يمكن أن نخبرك به من المعلومات عن تركيب الماء، أو أي شئ آخر.

وللأيدروجين حرارة نوعية أكبر كثيرا مما لأي عنصر آخر، أي أن الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدته الوزنية درجة واحدة من أعلى الحرارات النوعية بين المواد المركبة. وعندما يحترق الأيدروجين، يتولد الماء على هيئة بخار، وينتج عن هذه العملية كمية ضخمة من الحرارة تقدر بـ ٥١٥٠٠ وحدة حرارية إنجليزية لكل رطل من الأيدروجين. وعلى الرغم من أن اتحاد الأكسجين والأيدروجين عملية اشتعالية، فسوف نرى أن الماء، وهو نتيجة هذا الاتحاد، وسيلة لإطفاء الحرائق وتلطيف التطرفات الحرارية.

واتحاد الأيدروجين والأكسجين لتكوين الماء يحدث في أجسامنا باستمرار، ويؤدي إلى بعض النتائج العجيبة. وعلى الرغم من أن هذا الكتاب، وكثير غيره، يقرر أنه ما من كائن حي يستطيع العيش بغير الماء، فإن هناك حيوانات لا تشرب مطلقا، ولا تمتص الماء من خلال جلودها أو أصدافها. ولست أعني بذلك تلك الحالات الواضحة، مثل أكل كثير من البطيخ الذي قد يبقي الناس أحياء ربما إلى أجل مسمى. كما أنني لا أشير إلى الأطعمة الأخرى التي تحوي كثيرا من الماء: مثل اللحم البقري الطازج، أو البطاطس، أو اللبن، التي تبلغ نسبة الماء فيها ٦٣ %، ٧٨%،

٨٧% على التوالي. وعلى الرغم من أن الطماطم لا تعد سائلا، فإنها تحوي ما أكثر من اللبن. وهناك مصدر آخر للماء قلما فكر الناس فيه قط. ذلك أننا وغيرنا من الحيوانات نحرق المواد الهيدروكربونية الموجودة في طعامنا لنحصل على الحرارة وغيرها من أشكال الطاقة التي تحفظ علينا حياتنا. ولا يخفى أن هذه عملية أكسدة بطيئة. ويتحول جميع الأيدروجين الذي يتحد في أجسامنا بالأكسجين على ماء، يقدر بحوالي نصف لتر يوميا بالنسبة إلى الشخص العادي. ويبدو أن هذا الانتاج الداخلي للماء هو الطريقة الوحيدة لحصول بعض الحيوانات على كفايتها منه؛ فعثة السجاجيد حشرة لا تشرب الماء، لكنها تضع بيضا يحتوي على ٨٠% من الماء. ويبدو أنها تكاد تعتمد كلية على الماء الذي يتكون في جسمها من الأيدروجين الموجود فيما تقتات به من طعام شديد الجفاف.

والأشكال التي يمكن أن تظل محتفظة بالحياة لأطول فترة دون تزويدها بمصدر مائي متجدد، هي: الحبوب، البذور، والجوز، التي يمكن أن تنبت وتنمو بعد حفظها في مكان جاف لعدة سنوات. ويرجع ذلك إلى أنها تحوي ماءً تحميه قشرتها أو غطاؤها الذي لا ينفذ منه شيء، وتحفظه بإحكام. أما إذا فقدت البذرة كل مائها، فإنها تصبح مادة ميتة لا رجاء في إعادة الحياة إليها. إن جرثومة الحياة يجب ألا تحرم من إكسير حياتها "مثلك ومثلي على حد سواء".

لقد حاولت أن أوضح ما هو الماء بسرد قليل من المعلومات عن عنصرية المولدين، اللذين هما أيضا الجزاءن المكونان له، واللذين أكسباه

خواصه الفريدة. درجات الحرارة السائدة على الأرض لإنتاج المادة غير العضوية الوحيدة الموجودة طبيعيا في الحالة السائلة، وعلى ذلك يمكن أن نضيف إلى تعريفنا للماء أنه سائلنا الطبيعي الوحيد، ولكن هذا ليس إلا لخواص غريبة.

والماء أعم المذيبات وأكثرها انتشارا، ولذلك يرى أغلبنا الماء في حالته النقية الصرفة على الإطلاق. فالماء النقي في حاله سائلة لا يوجد في الطبيعة مطلقا، ومن الصعب جدا في المعمل. بل أن الأمطار التي تهطل ليست هي ذاتها ماء نقيا، لأنها تزيد بعض الغازات وتلتقط الغبار من الجو الذي تسقط خلاله. وإذا ما استطعنا الحصول على ماء نقي، فليس هناك سوى أنواع قليلة من الأواني هي التي يمكننا وضعه فيها بحيث لا يكون له تأثير مذيب عليها؛ فبمجرد أن يتلامس الماء هذا مع أية مادة صلبة يستطيع إذابتها بأقل درجة، أو مع أي هواء أو غاز آخر، فإنه يفقد نقاءه المطلق. ولذلك يكاد الماء أن يكون دائما حاملا لمواد أخرى، وهذه واحدة من أهم خواصه الفريدة العجيبة.

الفصل الثاني

الحالات الثلاث

كلنا نعرف أن أغلب المواد الأرضية التي لا حصر لها يمكن أن توجد في حالات ثلاث، هي: الصلبة، والسائلة، والغازية. ومع ذلك فقليل منها هو الذي يوجد عادة في أكثر من حالة من هذه الحالات. فنحن نعد الحديد صلبا، على الرغم من أننا يمكن أن نكون قد رأيناه يصب في حالة سائلة في أحد المسابك أو مصانع الفولاذ. والهواء غاز، وإن كان من الممكن أن نكون قد شاهدناه في حالة سائلة في بعض الاختبارات أو التجارب. أما ثاني أكسيد الكربون فهو استثناء لهذه القاعدة، إذ أننا نراه في صورة جليد جاف حول مثلجات، وفي صورة فقاعات غازية في ماء الصودا. والحجارة صلبة، ما لم نتخيلها متدفقة من البركان على هيئة حمم منصهرة.

وتتوقف الحالة التي توجد فيها المادة على الحرارة والضغط، ولكل حالة مداها الحراري. فالمادة الصلبة تتحول إلى سائلة، والسائلة إلى غازية، بارتفاع درجة الحرارة. ويمكننا الآن الحصول على جميع المواد المعروفة تقريبا في الحالة الصلبة، أو السائلة، أو الغازية، وذلك إذا بذلنا جهدا كافيا. فلكي نحصل على الهيليوم الصلب، لا بد لنا من تبريده إلى درجة ٤٥٨، وهي درجة أعلى بمقدار يقل عن درجتين من الصفر المطلق، وهو الحد

الأدنى للتدريج الحراري، حيث تتوقف جزيئات المادة عن الحركة ومن ثم تخلو من الحرارة. ولكي نحصل على عنصر التنجستين على هيئة غاز، يتعين علينا تسخينه إلى درجة أعلى من ١٠٦٥٢ درجة. وهاتان هما الحالتان المتطرفتان، إذ تقع بينهما جميع الحالات التي توجد عليها كل العناصر والمركبات المعروفة، على أنه ينبغي أن نتذكر أن درجات الانصهار، ودرجات التبخر بصفة خاصة، تتفاوت تبعا للضغط. فعند مستوى سطح البحر، يغلي الماء غير المحصور عند درجة ٢١٢، ولكن نقطة غليانه يمكن أن ترتفع إلى درجة ٧٠٠ بزيادة الضغط، أو تنخفض إلى درجة ٣٥ بانخفاض هذا الضغط. ويمكن الحصول على كل من الماء، والجليد، والبخار، تحت تفريغ عال جدا، في نفس الإناء ونفس الوقت، وفي حدود عدد قليل من درجات الحرارة. أما المقادير التي تعطى عادة فهي تلك التي تسري على الضغط الجوي الذي نعيش كلنا تحته، والذي يقدر عند مستوى سطح البحر بحوالي ١٤.٧ رطلا على البوصة المربعة.

لقد قلت أن الماء قبل مجيء الحياة، هو المادة الوحيدة التي كانت سائلا في درجات الحرارة العادية. واليوم، لا يزال الماء السائل الوحيد الذي يوجد طبيعيا بكميات كبيرة على سطح الأرض. أما عصارة الأشجار وعصير الفواكة والبطيخ، فهي ماء ممتزج بكمية قليلة من المواد الصلبة في حالة معلقة أو مذابة. كذلك يوجد تحت سطح الأرض بترول نتج بفعل العمليات الحيوية. ومنذ أن ظهرت الحياة على الأرض وهي لا تنفك تنتج – بمساعدة الماء – كثيرا من المواد العضوية السائلة في درجات الحرارة العادية. ولم يعرف الإنسان البدائي سوى سائل واحد، ثم تعلم في وقت

مبكر جدا من تقدمه الارتقائي أن يعتصر الزيت من الزيتون وينتج الكحول بالتخمر. وبعد ذلك بكثير تعلم أن ينقي الزئبق، فكان له معدن سائل يلهو ويفكر فيه. حقا إن الماء، السائل غير العضوي الوحيد في الطبيعة، هو أصل جميع السوائل العضوية، ابتداء من الدم الذي يجري في عروقنا حتى الجازولين الذي يحرك سياراتنا.

ومعظمنا لا يتخيل الماء إلا سائلا، ولذلك قد يكون من الأفضل أن نبحث قليلا من خواصه البارزة في هذه الحالة، قبل الانتقال إلى حالته الصلبة والغازية. والواقع أن الحياة لا يمكن أن توجد بغير الماء السائل، إذ أن جميع أشكال الحياة انتفعت بخواصه الغريبة انتفاعا رائعا. وعلى الرغم من أن الماء يسلك على أنحاء متعددة تؤثر تأثيرا هائلا على الكائنات الحية وتفيدها فائدة كبيرة، فإن أغلب الناس قلما يفكرون فيها، مع أنها موجودة دائما في أجسامنا وتعمل فيه باستمرار. فإذا ما أردنا فهم أنفسنا أو العالم المحيط بنا، فعلينا أن نعرف شيئا عما يفعل التوتر السطحي Surface tension، والجاذبية الشعرية Capillary attraction والتناضح أو الارتشاح الغشائي Osmosis .

إن السطح المائي الساكن يسلك كما لو كان جلدا مرنا مشدودا. وقد عرفت هذه الخاصية بعض أنواع البق المائي منذ وقت بعيد، فهيأت أقدامها لتلائم السير فوق الماء، وربما تكون قد شاهدتها وهي تجري هنا وهناك فوق سطح بركة ساكنة. فهي لا تخترق السطح، بل لا تبتل أقدامها. وبوسعك، لو كنت حريصا، أن تضع إبرة صغيرة فوق سطح الماء

بحيث تبدو طافية، والواقع أنها ترتكز على قشرة الماء الخارجية، إذ أنها تغوص إذا ما أحدثت اضطرابا في السطح. وقطرة الماء الساقطة تتخذ شكلا كرويا، وذلك إذا استثنينا تغير هذا الشكل بفعل مقاومة الهواء. فهي تسلك كما لو كانت مضطرة إلى اتخاذ الشكل الذي يمكن أن يحويها داخل أقل مساحة ممكنة من السطح.

إن الخاصية الشعرية فهي شيء لا يستطيع أحدنا الاستغناء عنه، إذا ما أردنا البقاء أحياء. فإذا ما وضعت أنبوبة ضيقة، مفتوحة من كلا الطرفين، في كوب به ماء، فإن السائل يرتفع في الأنبوبة. وهذا يبدو كما لو كان تحديا للجاذبية. والواقع أن السطح الداخلي للأنبوبة يجذب الماء الذي يأخذ في الارتفاع. وكلما ضاقت الأنبوبة، ازداد ارتفاع الماء فيها. ولا يكون سطح الماء في الأنبوبة مستويا، بل مقعرا، بحيث تكون أكثر نقطة انخفاضا في المراكز. أما سطح سائل مثل الزئبق، الذي لا يسبب ابتلال الزجاج، فيكون محدبا. وعندما تبتل يدك فإن طبقة الماء العالقة بها قد تتبخر، ولكن قوة الجاذبية لا تكفي لإزالتها. والخاصية الشعرية تجذب الماء في جميع الأماكن، فحيثما توجد مسام أو ثقوب، يزحف الماء داخلها، وينتشر رأسيا وأفقيا كما يحدث في ورقة النشاف. وهذه الخاصية مفيدة في ذبالات المصابيح، والأهم من ذلك فائدتها في كثير من الألياف الحيوانية والنباتية، سواء منها الحية أو الميتة.

وهناك أيضا ما يمكن وصفه بالمواد المتعطشة التي تمتص الماء من الهواء، وهذه الخاصية تضايقنا عندما يتصف بها ملح المائدة في حالة رطوبة

الجو، وتعرف بعض الأملاح التي تستمر في امتصاص الماء حتى تذوب فيه بالأملاح المتميعة. وهذه الخاصية طبيعية، غير أن بعض المواد تدخل مع الماء في تفاعل كيميائي عنيف؛ فإذا فلز الصوديوم أو البوتاسيوم في الماء، يحدث انفجار مدو، يرجع إلى تمزق جزيئات الماء، واتحاد الفلز بأكسيجينها.

كذلك تتميز السوائل بظاهرة أكثر غرابة حتى من الظاهرتين السابقتين، وتعرف بالتناضح أو الأزموزية Osmosis فإذا فصل محلولان مختلفا التركيز، من السكر المذاب في الماء مثلا، بواسطة غشاء يمكن أن ينفذ خلاله الماء، فإن الماء ينتقل من الجانب الذي به المحلول الأضعف إلى الجانب الذي به المحلول الأقوى. وتستمر هذه العملية العجيبة حتى يتساوى تركيز السكر على جانبي الغشاء. كما أنها تستمر على الرغم من أنها تتضمن إحداث ضغط على أحد جانبي الغشاء أعلى بكثير منه على الجانب الآخر، وذلك عندما ينتقل السائل من الجانب المنخفض إلى الجانب المرتفع الضغط. وتستخدم الخلايا – التي تكون جميع الكائنات الحية – عملية التناضح أو الارتشاح الغشائي؛ إذ أن لهذه الخلايا جدرانا غشائية تحصل من خلالها على المواد التي تحتاجها للنمو والبناء، وتتخلص من المواد الأخرى التي لم تعد لها حاجة إليها.

هل عن لك في وقت من الأوقات أن تتساءل كيف تنتقل العصارة النباتية، وهي محلول لعدد من المواد الذائبة في الماء، من الجذور إلى الأوراق

التي تتوج قمة شجرة الراوود[٦] Redwood أو التنوب (الشربين) على ارتفاع مائتي قدم؟ الواقع أن ذلك أمر لا يزال يكتنفه الغموض؛ فالعصارة هي شريان الحياة للأشجار والنباتات، والحشائش، وجميع أنواع المملكة النباتية التي لا نهاية لها. إذ أن للنباتات أجهزة دورية تنتقل خلالها المواد اللازمة لبناء الأوراق من الجذور، كما تحمل المواد التي تنتجها الأوراق إلى الجذع والسوق والجذور.. وبالمثل، فإن جميع أجزاء أجسامنا تبنى وتتجدد بواسطة مواد يحملها الدم. ولكن ليس هناك غموض بشأن مصدر القوة اللازمة لذلك؛ إذ أننا نستخدم مضخة. أما النباتات والأشجار فيبدو أنها تتوصل إلى نفس النتائج بطريقة أكثر حذقا ومهارة؛ إذ أنها تعتمد في عملها على خاصية التوتر السطحي، والجاذبية الشعرية، والارتشاح الغشائي.

والواقع أن النباتات والأشجار على قدر كبير من المهارة؛ فهي تتنفس بلا رئات، وتنقل العصارة لمسافة مئات من الأقدام دون مضخة أو شرايين، وتنظم عملياتها الحيوية بغير جهاز عصبي أو تنظيم محكم للغدد الصم [٧]، وتنشر بذورها لمسافات بعيدة، مستخدمة في ذلك الرياح والحيوانات، وتستمد الطاقة من شوء الشمس مباشرة، وهو أمر لم نبدأ التفكير فيه والحديث عنه إلا في وقت متأخر. وبينما تجمع الحيوانات الأكسجين والأيدروجين معا لتكوين الماء، فإن النباتات تفصل جزيئات

---

(٦) الاسم معرب، وهو لشجرة من المخروطيات Sequoia sempervirens (المترجم)

(٧) غدد تفرز محتوياتها في الدم مباشرة، وليس عن طريق قنوات، ولذلك تعرف أيضا بالغدد اللاقنوية أو الداخلية الإفراز. ومن أمثلتها الغدة النخامية، والكظرية (الأدرينالية)، والدرقية. (المترجم)

الماء لتحصل عليهما. والحيوانات تأكل النباتات، بينما قليل من النباتات فقط هو الذي يقتنص الحيوانات ويأكلها [٨].

وقد اعتقد "فابر" Fabre" وهو عالم طبيعي فرنسي، أنه كشف عن كيفية ارتفاع العصارة إلى قمم الأشجار العالية، ووصف تجربة لتوضيح نظريته؛ فقام بربط عنق مثانة أحد الأرانب – وهي غشاء – بإحكام حول أحد طرفي أنبوبة زجاجية طويلة، ثم ملأ المثانة بمحلول سكري مركز ووضعها في إناء به ماء، فانتقل الماء من الإناء عبر الغشاء لتخفيف المحلول السكري مما أدى إلى ارتفاع السائل في الأنبوبة. وقد قرر "فابر" أن تجربته أوضحت أن من الممكن ولكنني لا أعرف ما إذا كان من الممكن إحداث أية ضغوط كهذه، وهو أمر يكاد يكون غير معقول إذا نظرنا إلى التركيب الرقيق للخلايا الحية، غير أن هذه التجربة توضح إحدى العمليات التي تستخدمها النباتات، وهي عملية قادرة على إحداث ضغوط عالية بدرجة تدعو إلى الدهشة لرفع السوائل.

وتمتص الجذور الأملاح المعدنية من التربة المحيطة بها، غير أنه لا بد لها أن تحصل على المواد المناسبة، والماغنسيوم واحد من هذه المواد، إذ أن كل جزيء من جزيئات الكلوروفيل الموجودة في الأوراق لا بد أن يحصل على ذرة مغنسيوم، تماما مثل جزيئات الهيمولجوبين الموجودة في دمائنا التي

---

(٨) هناك فئة من النباتات لا تحصل على حاجتها من النيتروجين عن طريق أمتصاص النيترات من التربة، بل عن طريق اصطياد بعض الحشرات والحيوانات الدقيقة بواسطة أجزاء حورت خصيصا لهذا الغرض، ثم امتصاص عصاراتها المغذية. وتعرف هذه النباتات بآكلات الحشرات insectivorous أو آكلات الحيوانات Carnivorus. (المترجم)

لا بد لكل جزيء منها أن يحصل على ذرة حديد. ولا يمكن العثور على الماغنسيوم إلا في التربة، وهذه هي مهمة الجذور، وبوسعنا أن نعرف أن الماغنسيوم واسع الانتشار في القشرة الأرضية، إذا أدركنا أنه يوجد في التربة حيثما توجد ورقة خضراء أو نصل من النجيل. كذلك يتعين على الجذور أن تعثر على البوتاسيوم، والنيترات، والفسفور، وعدد من المواد الأخرى، ثم تمتصها وترسلها في العصارة إلى الأوراق.

وفي كل ربيع، ترسل جذور الأشجار عبر جذوعها كميات كبيرة من محلول رقيق القوام من المواد التي تمتصها من التربة وكذلك من المواد السكرية التي اختزنتها أثناء الشتاء. وتستمر هذه العملية بعد تكوين الأوراق، ولكن بمعدل أقل، حتى نهاية موسم النمو. وهناك دورة راجعة مقابلة تتألف من محلول أغلظ من المواد الهابطة من الأوراق لبناء الشجرة. والواقع أن الغابة في الربيع والصيف تقوم برفع سيول جارفة من الماء بكل معنى الكلمة، ويكون كل جذع من جذوعها الكثيرة بمثابة مجرى لهذه السيول. وقد دلت التجارب على أنه لكي تضيف شجرة الدردار إلى وزنها خمسين رطلا، فإنها تستخدم وتطلق في الهواء ١٧٠٠ جالونا من الماء. ويتطلب رفع هذا الماء مسافة متوسطها خمسون قدما بذل طاقة مقدارها ٧٠٥٥٠٠ قدما – رطلا[٩]. فمن أين تأتي هذه الطاقة؟ الواقع أن كل ورقة من أوراق النباتات هي بمثل معمل كيميائي عجيب، نستخدم فيه

---

(٩) يقاس الشغل في نظام القياس الإنجليزي بوحدات تعرف بالقدم – رطل Foot – Pound. وتساوي الوحدة من هذه الوحدات الشغل الذي يبذل لرفع كتلة مقدارها رطلا مسافة راسئة طولها قدما ضد الجاذبية. (المترجم)

طاقة الشمس الضوئية في فصل أكسجين الماء وأيدروجينه، وإنتاج المواد السكرية والنشوية والسليولوزية اللازمة للجذور، والسوق، والأزهار، والثمار [١٠].

وتتميز بعض النباتات الصغيرة بقدرة هائلة على اختزان النشا والسكر، ويعد البطاطس، ذلك النبات المتواضع العظيم الفائدة، من الأمثلة الجيدة لهذه النباتات؛ فإذا وفرت له الماء، والتربة، وضوء الشمس، نمت له جذور، وسوق زاحفة، وأوراق، وأزهار. ثم تنتج الأوراق النشا، الذي يتحول إلى سكر وينتقل تحت الأرض في محلول مائي إلى الدرنات، التي تعيد تحويله إلى نشا. وفي العام التالى، عندما تنمو بادرات البطاطس، يتحول النشا ثانية إلى سكر لكي ينتقل عبر الساق في محلول مائي لتكوين نبات جديد وتغذيته.

والجاذبية الشعرية تلعب دورا كبيرا في طريقة سلوك الماء في التربة، وباستثناء النباتات الطفيلية مثل الدبق [١١] Mistletoe ، التي تعيش على عوائل نباتية، لا يستطيع أي نبات من النباتات الأرضية عمل شيء دون اللجوء إلى هذا المصدر فعندما يدخل الماء في الأرض يهبط بعضه إلى عمق

---

(١٠) هذه هي عملية التمثيل الضوئي التي تستغل فيها النباتات الخضراء طاقة الضوء الشمسي لتكوين المواد الكربوايدراتية من ثاني أكسيد الكربون والماء مع انطلاق الأكسجين. ولا تحدث هذه العملية إلا إذا توافر للنبات قدر كاف من الضوء الذي يحوله الكلوروفيل بطريقة ما إلى طاقة تستطيع الخلايا استغلالها في بناء المواد.

(١١) الدبق أو الدابوق أو المقساس (Loranthus europaens) ، نبات طفيلي ينمو على أشجار التفاح وغيرها. يحمل ثمار لزجه تستخدم في صيد الطيور.

تكون فيه التربة مشبعة باستمرار. وهذا ما يعرف بمستوى أو منسوب الماء الأرضي، الذي قد يكون بعيدا عن متناول جذور كثير من النباتات. وإذا استجاب جميع الماء لشد الجاذبية الشعرية تنقذ الموقف، وكذلك تنقذ حياتنا. ذلك أن طبقة رقيقة من الماء تعلق بكل حبة من حبيبات التربة تبتل بالماء وكذلك بين أن طبقة رقيقة من الماء تعلق بكل حبة من حبيبات التربة تبتل بالماء وكذلك بين هذه الحبيبات، فتتمكن الجذور من الحصول عليها. وقد تسحب الخاصية الشعرية الماء من مستوى الماء الأرضي. وهذا الماء يرتفع داخل الفتحات الدقيقة الموجودة بين حبيبات التربة بنفس الطريقة التي يرتفع بها في أنبوبة رفيعة كالشعر، وهذا هو المعنى المقصود من هذه الخاصية.

وإذا ارتفع هذا الماء حتى السطح، فإنه يتبخر ويفقد، ولذلك كان من المهم جدا للفلاحين والبستانيين، خاصة في الجو الجاف، أن يحفظوا التربة في حالة تستطيع معها جذور النباتات الحصول على الماء، ولكن لا يرتفع الماء فيها إلى السطح في نفس الوقت. وتكون الخاصية الشعرية قوية في الأماكن التي تنضغط فيها حبيبات التربة بالقرب من بعضها البعض، وهذا هو السبب في أن الأثر الذي تتركه أقدامك فوق التربة اللينة التي تغطي حديقتك يكون رطبا، بينما يكون السطح المحيط به جافا. والواقع أن أكثر الظروف ملاءمة للنباتات هي إحاطة جذورها بتربة دقيقة الحبيبات جيدة التماسك، وخاصة لو وضعت فوق السطح طبقة من الحبيبات المتفرقة الخشنة، وغطيت هذه الطبقة بنوع من التبن أو القش.

وليس السبب الوحيد لذلك الطابع الفريد الذي يتميز به الماء هو أنه المادة الطبيعية الوحيدة المعروفة بكميات كبيرة على هيئة سائل، وانما هو أيضا كونهم المادة الوحيدة التي توجد طبيعيا في جميع الحالات الثلاث في درجات الحرارة العادية. وهذا أمر من الأمور اليومية المألوفة: فنحن نشرب كوبا من الماء، الذي تثلجه مكعبات الجليد، ونتحدث في الوقت نفسه عن رطوبة الجو النسبية، وهي نسبة بخار الماء الذي يحويه الجو إلى الحد الأقصى الذي يستطيع الجو الاحتفاظ به من هذا البخار في درجة حرارة معينة. أما إذا كنا نتحدث عن الرطوبة المطلقة، فهي وزن بخار الماء الذي يحتويه حجم وحدة من الهواء. وإذا تصادف أن وقفنا فوق طبقة الجليد التي تغطي سطح إحدى البرك، فلنعلم أن تحتنا ماءً سائلا، وأن كل قدم مكعب من الهواء حولنا وفوقنا يحمل حصته من بخار الماء. وعلى النقيض من ذلك، نجد أن الحديد يكون صلبا في درجة أقل من ٢٧٩٥، ويظل سائلا حتى درجة ٥٤٣٢، ويتحول إلى غاز فوق هذه الدرجة.

ومن الطريف والمهم أن نفهم سلوك الماء في حالاته الثلاث، إذ أن هذا السلوك هو الذي أبدع عالمنا وأوجدنا نحن أنفسنا. والواقع أن جميع أشكال الحياة، وأوجه نشاطها، تتوقف على سلوك الماء هذا. ونحن نعرف بالفعل أن حالات المادة الثلاث تتوقف على عاملين رئيسين هما الحرارة والضغط. وعل الرغم من أن الحرارة كالماء، شائعة ومألوفة، فإن قليلا من الناس يفكرون فيها أو يعرفون عنها الكثير. لذلك كان من الضروري أن نقول عنها شيئا، حتى لو جازفنا من أجل ذلك بذكر قليل من المعلومات التي سبق لك معرفتها.

فالحرارة، مثلها في ذلك مثل أغلب الأشياء الأخرى، لا بد من قياسها كما وكيفا إذا أردنا أن نعرف عنها الكثير. فإذا كنا نشترى قمحا مثلا، فإنه يلزمنا معرفة عدد الأرادب ورتبتها. أما نوع الحرارة (رتبتها) فيوصف على هيئة درجات حرارية، تقاس بواسطة الترمومتر أو البيرومتر [١٢] (المضرم). على أن هذا لا يكشف شيئا عن كمية الحرارة التي نحن بصددها. ولتوضيح ذلك نقول إنه إذا توافرت لك فقط معرفة أن ضغط الماء في أنبوبة هو ١٠٠ رطل على البوصة المربعة، فإنك لا تستطيع تحديد مقدار الماء المنصرف من هذه الأنبوبة، إذ يلزمك أيضا معرفة ما إذا كان قطرها ربع بوصة أو اثنى عشرة بوصة.

وقياس كمية من الحرارة ليس بأية حال على نفس الدرجة من السهولة التي يقاس بها إردب من القمح أو جالون من الماء، وذلك لأن الحرارة حركة جزيئية، ونحن لا نستطيع قياس سرعة الجزيئات مباشرة، ولكننا نستطيع قياس التأثير الناتج عن حركتها. وتقاس كمية الحرارة بوحدات، هي: الوحدة الحرارية الإنجليزية British thermal unit، والكالوري (السعر) في النظام المئوي. والأولى هي الحرارة اللازمة لرفع حرارة رطل من الماء، في ظروف قياسية خاصة، درجة فهرنهيتية واحدة. أما الكالوري، فهو كمية الحرارة اللازمة لتسخين جرام من الماء درجة مئوية واحدة. والوحدة الحرارية الإنجليزية، التي يشيع استخدامها في البلدان الناطقة بالإنجليزية والتي تستخدم في هذا الكتاب، تساوي ٢٥٢ سعرا.

---

(١٢) جهاز لقياس درجات الحرارة المرتفعة عند بعد .

وتعرف كمية الحرارة اللازمة لرفع حرارة وحدة الوزن من أية مادة درجة واحدة باسم حراراتها النوعية، وهذه الأخيرة ليست ثابتة، بل تتغير تبعا لدرجة الحرارة. وللماء، الذي اتخذ مادة قياسية لتعريف وحدة الكم الحراري، أعلى حرارة نوعية بين جميع المواد المركبة، وذلك باستثناء بعض الحالات التي لا أهمية لها، والأيدروجين أحد العنصرين المولدين للماء، هي العنصر الوحيد الذي له حرارة نوعية أعلى من الماء. والواقع أن مواد قليلة هي التي تبلغ حراراتها النوعية نصف حرارة الماء.

ولذلك كان من الطبيعي أن تصبح الحرارات النوعية لجميع المواد تقريبا أجزاء من حرارة الماء النوعية، التي تساوي واحدا، وتكتب هذه الأجزاء دائما عل هيئة كسور عشرية.

ويمكن توضيح تفاوت الحرارة النوعية تبعا لدرجة الحرارة، وكذلك توضيح طريقة التعبير عن هذا التفاوت، بدراسة سلوك أحد الفلزات الشائعة، التي تتميز جميعا بحرارة نوعية منخفضة. فحرارة الرصاص النوعية، مثلا، تبلغ ٠.٠٠٠٠١ في درجة ٤٥٤ أي أن تسخين رطل من الرصاص من درجة ٤٥٤ إلى درجة – ٤٥٣ لا يحتاج إلا إلى ٠.٠٠٠٠١ من الوحدة الحرارية الإنجليزية أما عند درجة ٣٢ فتزداد الحرارة النوعية إلى ٠.٠٢٩٧، أي أن تسخين نفس الرطل من الرصاص بمقدار درجة واحدة يتطلب كمية من الحرارة تزيد ٢٩٧٠ ضعفا عما يتطلبه عند درجة الحرارة الأقل. وعند درجة ٥٧٢ تصبح حرارة الرصاص النوعية ٠.٣٥٦ ، وإذا وضعت نفس الكمية من الحرارة، ولنفرض أنها وحدة واحدة من الوحدات

الحرارية الإنجليزية، في رطل من الرصاص ورطل من الماء كليهما عند درجة ٣٢، فإن حرارة الرصاص ترتفع أكثر من ٣٣ درجة، بينما لا ترتفع حرارة الماء سوى درجة واحدة. أي أننا نستطيع اختزان كمية من الحرارة في رطل من الماء تزيد ٣٣ ضعفا عما نستطيع اختزانه في رطل من الرصاص بنفس الزيادة في الحرارة.

إلى هذا الحد تصل قدرة الماء الهائلة على امتصاص الحرارة وتخزينها بالنسبة إلى الرصاص. وفضلا عن ذلك فإننا نستطيع – في وقت ومكان آخر – أن نستعيد من رطل من الماء كمية من الحرارة كلاهما يبرد درجة واحدة. وسوف نرى فيما بعد كيف تسنى لهذه القدرة تزيد ٣٣ ضعفا عما يمكننا استعادته من رطل الرصاص، وذلك إذا ما ترك الهائلة على اختزان الحرارة، التي هي إحدى الخواص المميزة للماء، أن تجعل من العالم مكانا أكثر ملائمة إلى حد بعيد لنعيش فيه بل أنه ليمكن القول أيضا أنه لولا هذه القدرة لما وجدت على الأرض حياة.

ونحن لا نستطيع فهم الطريقة التي يعمل بها هذا العالم العجيب الذي نعيش فيه، أو تلك الأشكال الأخرى من الحياة التي تشاركنا فيه، والتي تتوقف على بعضها حياتنا ذاتها، إلا إذا فهمنا سلوك الماء إزاء تأثير ذلك الشكل من الطاقة الذي نطلق عليه اسم الحرارة. فالحرارة هي التي تحرك تلك الدورة التي نحتت وجه الأرض، وجعلت الحياة ممكنة عليها، وحددت الشكل الذي يجب أن تكون عليه هذه الحياة.

إن الجليد مألوف لدى أغلب الناس، ولكن كم منهم يرى فيه واحدا من أغرب المواد الصلبة جمعاء؟ وربما كان ينبغي علي ألا أسميه مادة صلبة، إذ أنه لا يسلك دائما مسلك هذه المواد، فالثلاجة حين تنحدر من جانب الجبل إلى سفحه تنساب كالنهر ببطء شديد. وربما كانت أغرب خاصية للماء هي أنه يتمدد عندما يتجمد لتكوين الجليد. أما جميع المواد الأخرى، باستثناء واحد هو البزموت، فإنها تتقلص عند تجمدها. فلنحاول أن نتخيل أية صورة يمكن أن يكون عليها هذا العالم لو أن الماء سلك في هذه الناحية مسلك المواد الأخرى.

فلو كان الماء يتقلص بالتجميد، لهبط إلى القاع عندما يتجمد في الشتاء، ولظل هناك. وعندئذ لن ينصهر منه في الربيع سوى جزء ضئيل جدا لأن حرارة الشمس لا تصل إليه في هذه الأعماق. وهكذا فسرعان ما تتحول جميعم المحيطات، والبحيرات، والأنهار، وغيرها من الأجسام في الأجزاء الباردة من العالم إلى جليد صلب. أما التيارات المحيطية الهائلة، التي تنقل الحرارة الآن من أجزاء العالم المتطرفة السخونة إلى الأجزاء المتطرفة البرودة، فلم يكن من الممكن أن توجد في هذه الحالة. وهكذا تصبح المناطق المدارية حارة بدرجة لا تحتمل، بينما يصبح الجزء الأكبر من باقي العالم صحراء من الجليد. ومن المشكوك فيه جدا أن يتسنى للحياة أن توجد وترتقي في ظل درجات من الحرارة على هذا القدر العنيف من التطرف، ولكن من المؤكد أنها ما كانت لتصل قط إلى درجة الخصب والتنوع التي ننعم بها الآن.

وكلنا يعرف الماء الصلب وهو على هيئة جليد، وبرد، وصقيع، وندف ثلجية.. وهي بلورات جميلة رقيقة سداسية الشكل (ذات ستة أضلاع أو ستة فروع). وهذا تباين رائع في الأشكال حتى بالنسبة إلى مادة على هذا القدر من التقلب والغرابة كالماء، ولكن "بيرسي. و .بريدجمان" Percy W. Bridgman قام بدراسة طويلة رائعة لسلوك الجليد عند تعرضه للضغوط العالية، واهتدى إلى سبعة أنواع من الجليد تختلف خواصها اختلافا كبيرا حسب الضغط.

وتتوقف الحرارة التي يتحول عندها الماء إلى جليد على الضغط، وعلى احتوائه أو عدم احتوائه على شيء مذاب. فالماء النقي يتجمد تحت الضغط الجوي العادي عند درجة ٣٢. وتؤدي الأملاح المذابة في الماء إلى خفض درجة تجمده. وعندما يتجمد هذا الماء، تطرد الأملاح المذابة فيه، ويصبح الجليد الناتج ماء نقيا تقريبا، ولذلك كان لا بد أن تنخفض حرارة ماء المحيط إلى درجة تتراوح بين ٢٨ و ٢٩ قبل أن يبدأ في التجمد، وإن كان الجليد المتكون بهذه الطريقة لا يذوب حتى ترتفع الحرارة إلى درجة ٣٢.

وتنخفض نقطة التجمد بارتفاع الضغط، ولكن بدرجة بسيطة فقط؛ فالضغط اللازم لإبقاء الماء سائلا في درجة ٣٠ يقدر بحوالي ١٣٨ طنا على البوصة المربعة. ومن السهر أن نعرف لماذا تنفجر المواسير وأنابيب التدفئة إذا تجمد الماء الموجود فيها. فإذا بردنا إناء مغلقا مليئا بالماء إلى درجة ٣٠، فإن الماء عندما يتحول إلى جليد يحاول التمدد بمقدار يعادل

١/٩ حجمه تقريبا. وحتى لو كان الإناء قويا بدرجة يصمد معها للضغط الذي يساوي ١٣٨ طنا على كل بوصة مربعة من مساحته عندما تنخفض الحرارة قليلا، فلا شك أن شيئا ما قد ينهار تحت وطأة هذا الضغط.

ولنأخذ الآن رطلا من الجليد عند درجة ٣٠ وتحت الضغط الجوي العادي، ونضيف إليه حرارة، ولما كانت حرارة الجليد النوعية في درجة ٣٠ تقدر بحوالي ٠.٥، فإن حرارته ترتفع إلى درجة ٣٢ عندما نضيف إليه وحدة واحدة من الوحدات الحرارية الإنجليزية (و . ح. أ). وتظل حرارته ثابته عند درجة ٣٢ مع استمرار إضافة الحرارة، ولكنه يبدأ في الذوبان. وعندما نكون قد أضفنا نحو ١٤٤ (و.ح.ا) يكون جميع الجليد قد تحول إلى ماء. ولكن الحرارة تظل ثابتة عند درجة ٣٢.

وتعرف الحرارة التي يتعين إضافتها إلى جسم صلب حتى ينصهر، أو إزالتها من سائل حتى يتجمد، بحرارة الانصهار الكامنة Lateni heat of fusion وهذه الطاقة تبذل في زيادة حركة الجزيئات، وتنطلق كمية مساوية من الطاقة عندما تتباطأ هذه الحركة وتتحول المادة ثانية إلى جسم صلب. وحرارة انصهار الماء أكبر كثيرا منها في أغلب المواد الأخرى، فالحرارة اللازمة لصهر رطل من الجليد هي درجة ٣٢ تكفي لإسالة أكثر من عشرة أرطال من حديد الزهر الصلب الذي وصل إلى نقطة انصهاره.

وباستمرار إضافة الحرارة إلى رطل الماء السائل في درجة ٣٢، ترتفع حرارته نحو درجة مقابل كل و.ح.ا يمتصها. ويأخذ الماء، الذي يبدأ يشغل

حيزا أقل من الجليد، في التقليص حتى يصل إلى درجة ٣٩، وهي النقطة التي يبلغ فيها أقصى كثافته. وإذا تجاوزنا هذه النقطة، فإن استمرار التسخين يؤدي إلى تمدد الماء حتى صل إلى درجة معروفة جيدا، ألا وهي درجة ٢١٢. وهنا تتوقف حرارته عن الارتفاع، ولكنه يبدأ في التحول إلى بخار، وعندما يتم إضافة ٩٧٠ و.ح.ا، نكون قد حصلنا على رطل من البخار. وتعرف الطاقة اللازمة لتحويل سائل ما عند نقطة غليانه إلى غاز باسم حرارة التبخر الكامنة Latent heat of evaporation ، وهي أكبر في حالة الماء منها في أية مادة أخرى. ومن حسن حظنا أن الأمور تجري على هذا النحو، كما سنرى فيما بعد. ويشغل البخار الناتج عن رطل من الماء في الضغط الجوي العادي حجما مقداره ٢٦.٨ قدما مكعبا – وهو تمدد يعادل حجمه ١٦٠٠ مرة – وإذا حصرنا البخار في إناء لا يسمح بمزيد من التمدد، وواصلنا إضافة الحرارة، فإن حرارته وضغطه يرتفعان كلاهما [١٣].

ويقال عن البخار أنه مشبع طالما كان على اتصال بالماء، أما إذا توقف عن الوجود في صحبة الماء، وكان عند نقطة الغليان المقابلة لضغطه، أو فوقه، فعندئذ يقال أنه جاف. والبخار الجاف لا يرى، ويسلك مسلك أي غاز آخر. وعندما يتسرب هذا البخار في الهواء، فإنه يبرد ويبدأ في التكاثف مكونا قطرات مائية دقيقة يمكن أن ترى. وإذا أضيفت الحرارة إلى

([١٣]) إذا أضفنا، مثلا، إلى رطل البخار في هذه الحالة ٥١.٥ و.ح.ا، فإن ضغطه المطلق يصبح نحو ٢٥٠ رطلا على البوصة المربعة، وحرارته نحو ٤٠١ درجة

البخار الجاف الذي ليس على اتصال بالماء، يقال أنه مفرط السخونة Superheated وإذا ظل ضغط البخار ثابتا أثناء إضافة الحرارة، تزداد حرارته وحجمه، أما إذا ظل حجمه ثابتا، فإن حرارته وضغطه يزدادان. وإذا قمنا بتسخين الماء والبخار إلى درجة كافية، فإننا نصل إلى نقطة تعرف "بالضغط الحرج" Critical pressure حيث تحدث حالة غريبة إلى حد ما. فعند ضغط يقدر بحوالي ٣٢٠٦ أرطال على البوصة المربعة وحرارة تبلغ ٧٠٤ درجة، يصبح الماء بخارا بدون أي تمدد، أي أنه يتحول من سائل إلى بخار دون تغير في الحجم، وعلى هذا فإنه لا يمكن تكثيف البخار فوق درجة الحرارة الحرجة، بصرف النظر عما يستخدم من الضغط.

وبوسعنا أن نفهم هذا السلوك إذا ما نظرنا إلى الحرارة بوصفها حركة جزيئية، فعندما تصل الجزيئات – بسبب إضافة الحرارة – إلى سرعة معينة، يتحول الجسم الصلب إلى سائل. وعندما تؤدي إضافة المزيد من الحرارة إلى جعل الحركة الجزيئية عنيفة بدرجة كافية، تبدأ الجزيئات في الانطلاق من السائل على هيئة بخار. وعلى حين أن رطل الماء الذي نتحدث عنه يتحول كله إلى بخار في درجة ٢١٢، فإن بعض جزيئات الماء تنتقل إلى حالة البخار، وتتسرب داخل الهواء غير المشبع في جميع درجات الحرارة، حتى من الجليد والثلج. ففي كل يوم تسبب حرارة الشمس تسرب ملايين الأطنان من الماء من المحيطات، والبحار، والبحيرات إلى الهواء، على الرغم من أن حرارة الماء قليلا ما تتجاوز ٨٠ درجة. ويتوقف معدل التبخر على درجة الحرارة، والضغط ، وكمية بخار الماء الموجود فعلا في الهواء.

والقدم المكعب من الهواء لا يستطيع أن يحتفظ إلا بقدر معين من بخار الماء في درجة حرارة معينة. وحينئذ يقال عنه أنه مشبع وإذا ارتفعت درجة الحرارة فإنه يستطيع استيعاب المزيد، أما إذا انخفضت فإنه لا يستطيع الاحتفاظ بما لديه، ويتكثف بعض البخار على هيئة ندى، أو ضباب، أو أمطار، أو ثلوج. وسوف نرى فيما بعد أن بخار الماء الموجود في الهواء يحيل أرضنا إلى مكان صالح للحياة.

وتقوم أجهزة توليد الطاقة البخارية بحرق الوقود، ووضع أقصى ما يمكنها اقتناصه من طاقة الاحتراق في ماء المرجل حتى ترتفع حرارته، وتحوله إلى بخار، ثم ترفع حرارة هذا البخار وضغطه.

وبعد ذلك يسمح للبخار بالتمدد داخل المحركات والتوربينات، فيستعاد جزء من طاقة الوقود على هيئة قوة آلية (ميكانيكية)، يمكن تحويلها إلى طاقة كهربية. وهذه إحدى فوائد الماء التي غيرت حياة الإنسان ومجرى التاريخ تغييرا كثيرا.

ولم يقتصر استغلال لوقود والبخار على إزالة قدر كبير من العمل الشاق عن عاتق الناس فحسب، بل أتاح لهم أيضا إنجاز كثير من الأشياء التي كانت تتجاوز نطاق قواتهم، بغض النظر عن عددهم أو مدة مثابرتهم على العمل الجاد. فبينما تستطيع قاطرة بخارية واحدة تحريك قطار مكون من عربات شحن حمولتها مائة وخمسين طنا بسرعة ثلاثين ميلا في الساعة، فإن عدد الحمالين الذين يستطيعون نقل ملايين الأرطال العشرة التي

يحملها القطار، بفرض أن كلا منهم يحمل ثمانين رطلا، يقدر بمائة وخمسة وعشرين ألفا، ولكن لا هذا العدد ولا أي عدد آخر من الحمالين يستطيع نقل هذه الحمولة بسرعة ثلاثين ميلا في الساعة.

وقد وهب الماء الإنسان أولى وسائله لتوليد القوة، وأعظمها حتى الآن، والأرجح ألا تستطيع الطاقة الذرية ذاتها أن تقصي الماء عن مكانته هذه. وعلى الرغم من أن كثيرا من عمليات النقل تتم الآن بواسطة قاطرات الجارولين (البترول) والديزل، فإن أكبر وحدات لتوليد القوى لا تزال التوربينات الضخمة التي يؤدي بخارها، عند ضغط يبلغ ١٢٥٠ رطلا أو أكثر على البوصة المربعة وحرارة تزيد على ٩٠٠ درجة، إلى توليد قوة مقدارها ٢٠٠.٠٠٠ حصان في التوربين الواحد، وكذلك الحال في وحدات توليد القوى الكهربية المائية التي تستغل الأنهار وطاقة الشمس بطريقة غير مباشرة.

والماء في جميع حالاته الثلاث، قد يكون صديقا للإنسان أو عدوا له؛ فالجليد يمكن أن يبرد المشروبات، ويحفظ الطعام، ويسد الموانيء، ويغرق عابرات المحيط. والثلوج يمكن أن تجعل الحقول مثمرة وتسد الطرق. والأمطار تجعل الأرض صالحة للحياة وتنتج كل ثمارها الطيبة، ولكنها تتلف الحقول أيضا، وتحيق الخراب والدمار بمساحات شاسعة في حالة الفيضانات.

والبخار حين يخضع لإرادتنا يدفئ منازلنا ويحرك أجهزتنا الخاصة بتوليد القوى، وحين ينفجر يمزق ويدمر. ومع أن بخار الماء على هيئة رطوبة عالية جدا، يؤدي إلى الضيق والوهن، فلولاه ما كان العالم مكانا صالحا للسكنى.

وقد استخدمت حالات الماء الثلاث في وضع النقط المحددة على التدريج الحراري المئوي الذي يتبع في جزء كبير جدا من العالم، ويستخدم في جميع أرجائه في إجراء قدر كبير من أبحاثنا العلمية. وفي هذا التدريج يشير الصفر إلى نقطة تجمد الماء النقي عند الضغط الجوي العادي، وترمز درجة ١٠٠ إلى نقطة غليانه، وهذا النظام منطقي وسهل إلى حد كبير بالنسبة إلى النظام الفهرنهيتي.

وقد ابتكر السير "اسحق نيوتن" الترمومتر في عام ١٧٠١، واستخدم في ذلك عمودا من زيت بذر الكتان، حيث بدأ تدريجه من درجه حرارة الجسم البشري، التي وضعها عند ١٢ درجة، وجعل نقطة تجمد الماء صفرا. أما "فهرنهيت" Fahrenheit – الذي ولد في ألمانيا عام ١٦٨٦ ولكنه أمضى أغلب حياته في هولندا وإنجلترا – فكان أول من لاحظ اختلاف نقطة الغليان حسب الضغط. وقد قام بتحسين ترمومتر "نيوتن" عن طريق استخدام الزئبق، كما رأى الحاجة إلى تدريج أدق تجزيئا. ولكنه اتخذ لصفره، لسوء الحظ، أقل درجة استطاع الحصول عليها بواسطة خليط من الملح والجليد. وهذا الخليط طريقة جيدة لعمل المثلجات، ولكنه ليس

كذلك بالنسبة إلى تحديد الصفر في التدريج الحراري، ومازلنا نعاني من خطئه هذا.

وإذ شئت أن تتأكد من دقة ترمومترك، ضعه في كوب من الماء والجليد، فإذا كان دقيقا ينبغي أن يسجل درجة قريبة من درجة الصفر المئوي، أو درجة ٣٣ ق.

وقد استخدم الماء في تثبيت بعض الوحدات المستعملة في نظام القياس المتري (المئوي). فالكيلوجرام الأصلي كان يساوي وزن عُشر متر (ديسمتر) مكعب من الماء النقي في درجة ٤م، كما كان نفس الحجم يتخذ أساسا للتر، وهو الوحدة المترية لقياس السوائل. فلتر الماء إذن يزن كيلوجراما. واللتر يزيد قليلا عن "الكورت" [١٤] Quar، وهو المقياس المستخدم في الولايات المتحدة.

وتؤلف حالات الماء الثلاث ثالوثا واحدا؛ أي أنها ثلاث صور لمادة واحدة، وهذا يؤدي إلى حالة عجيبة من التناقض، إذ بينما يبدو الماء أكثر المواد تغيرا، فإن المحيطات هي أكثر المعالم ثباتا على أرضنا. فالماء الذي كان سحابة بالأمس قد يصبح اليوم غديرا وفي الغد جليدا. والواقع أن المعالم الأرضية ظواهر عارضة لا تلبث أن تزول: فالجبال تتآكل وتندثر، والأراضي المنخفضة تندفع إلى أعلى مكونة الجبال، غير أن المحيطات الكبيرة أقل هذه المعالم تغيرا.

---

(١٤) مقياس للسوائل سعته ربع جالون أو ١.١٣٦ لترا. (المترجم)

وجزيئات الماء التي تكون ٧٠ % من أجسامنا اليوم، كانت في المحيطات والسحب والجليد، وإليها ستعود ثانية. وما حلولها بلحمنا ودمنا إلا حلقة قصيرة الأمد في سلسلة الحوادث التي بدأت عندما كان كوكبنا حديثا جدا. والتي لا يعرف نهايتها أحد. وينبغي ألا يبدو هذا الأمر غريبا علينا، ذلك أن صفة الكون الوحيد الثابتة هي التغير؛ فنحن نعيش في كون متحرك لا تكف فيه جميع الأشياء – من الإلكترونات حتى الشموس – عن الحركة والتغير المستمر. وما نسميه بالزمان إنما هو نتاج للحركة، إذ أن الحوادث هي التي تخلق الزمان، ولولا الحركة لما وجدت حوادث ولا زمان. وعلى ذلك فنحن، والماء، وجميع الأشياء الأخرى نرتبط بصله القربى، من حيث أننا نغير أشكالنا باستمرار، ولكن هذه التغيرات التي لا حصر لها لا تؤدي آخر الأمر إلى فقد أي شيء أو فنائه. ولذلك يبدو من المعقول أن نفترض أن قوانين البقاء [١٥] شاملة، بحيث لا تنطبق على المادة والطاقة فحسب، بل وعلى ما نسميه بالحياة أيضا.

([١٥]) المقصود هنا قوانين بقاء المادة وبقاء الطاقة (المادة لا تفنى ولا تستحدث والطاقة تتغير أشكالها ولكنها لا تزيد ولا تنقص) (المترجم)

الفصل الثالث

كيف كان الماء في البداية

لقد تحدثنا عن الأيدروجين والأكسجين بوصفهما أبوين للماء، فإذا خطر لأحد أن يسأل عن الموعد الذي ولد فيه الطفل، فإننا نستطيع الإجابة بطريقة عامة طالما كان الأمر متعلقا بأرضنا، إذ أن الأكسجين والأيدروجين لا يستطيعان الاتحاد لتكوين الماء في درجات الحرارة المرتفعة جدا، فعندما تكون الحرارة شديدة السخونة، ترغم جميع العناصر على البقاء في عزلة وانفراد. وتتحرك ذراتها بسرعة فائقة جدا، وبينما تصطدم هذه الذرات بعنف بذرات العناصر لأخرى، فإنها لا تستطيع تكوين روابط معها، إذ أنها ترتد في اتجاهات جديدة سرعان ما تؤدي إلى اصطدامات جديدة.

وليس هناك من يعلم عن يقين كيف جرت الأمور في الفصول الأولى من تاريخ الأرض. ولما كانت هناك عدة روايات في هذا الصدد، فسوف نأخذ بأرجحها وأكثرها شيوعا. ففي بادئ الأمر، كانت الأرض على الأرجح كتلة غازية ساخنة جدا، بلغت من السخونة حدا لا يمكن أن يتكون معه الماء: فعندما كان الأكسجين والأيدروجين يتقابلان، كانت طاقتهما الحركية الهائلة تفرقهما دائما الواحد عن الآخر. وكانت الكتلة

الغازية المتوهجة تشع حرارة بمعدل هائل ولذلك أخذت تبرد بسرعة [١٦]. ومع استمرار البرودة، بدأت العناصر تتحد لتكوين مركبات، وفي وقت سريع نسبيا – حسب تقديرنا للوقت في عمر الكواكب – بدأت العناصر والمركبات تتكاثف إلى سوائل. وأصبح باطن الكرة الأرضية سائلا عندما تكاثفت العناصر التي تغلي في درجات حرارة مرتفعة، ثم حملت التيارات الناقلة المواد الأخف وزنا وأكثر سخونة إلى السطح، حيث بددت حرارتها بالإشعاع. وأخيرا، بدأ السطح يكتسب قشرة عندما بردت المواد المنصهرة وتحولت إلى صخور متوهجة، وظهر الماء عند هذه النقطة من تطور الأرض تقريبا.

ولنقف هنا لحظة ونحاول تصور الشكل الذي كان عليه سطح الأرض والغلاف الجوي عندما ظهر الماء إلى عالم الوجود، والواقع أننا لم نر قط شيئا يمكن مقارنته بهذه الصورة، وربما أفادت فوهة البركان الثائر، أو فرن الفولاذ ذي الموقد المكشوف، في الإيحاء بالصورة، إذا تخيلناهما على نطاق واسع؛ فالأرض كانت خبثا ساخنا إلى درجة الأحمرار، وكانت الرياح ألسنة من لهب.

وكانت القشرة رقيقة وربما غير ثابتة على الإطلاق، وكثيرا ما كانت الحمم المنصهرة المندفعة من الباطن تخترقها وتغمر السطح.

---

(١٦) يزداد الإشعاع بنسبة الأس الرابع لدرجة الحرارة فوق الصفر المطلق؛ فالسطح عند درجة الحرارة المطلقة التي تبلغ ١٥٠٠، يشع كمية من الحرارة تزيد ٨١ ضعفا عما يشعه عند درجة ٥٠٠ المطلقة.

وهناك أدلة كثيرة تشير إلى أن القمر انفصل عن الأرض بعد أن بدأت قشرتها في التجمد، وأنه انفصل من المكان الذي يشغله المحيط الهادي الآن، وهكذا أدت نفس الحادثة الأرضية العنيفة إلى حصولنا على قمرنا العظيم وعلى أكبر محيطاتنا. ومن المؤكد أن القمر كان في وقت ما أقرب كثيرا من الأرض عما هو عليه الآن. وهو ولا يزال مستمرا في ابتعاده عنها. ومن المحتمل أن الفترة التي كان القمر يدور فيها حول محوره لم تكن مساوية لتلك التي يقوم فيها برحلته حول الأرض، وعلى ذلك فمن الجائز ألا يكون قد احتفظ دائما بنفس الجانب مواجها للأرض، على العكس مما يفعله الآن.

ولو وجدت في تلك الآونة سوائل فوق سطح الأرض، لكانت موجات المد التي يحدثها القمر في هذه السوائل أعلى بكثير مما يمكن أن يحدثها وهو على مسافته الحالية من الأرض. وكانت الأرض حينذاك تدور حول محورها بسرعة أكبر كثيرا مما هي عليه الآن، أي أنها كانت تستغرق عددا أكبر من الأيام لإتمام السنة. ولكن حتى لو افترضنا أن أحدا استطاع أن يعيش في الأتون المستعر على الأرض الحديثة التكوين، لتعذر عليه رؤية الشمس أو القمر من خلال الغلاف الجوي السميك المظلم، ولاستحال عليه معرفة شيء عن الأيام أو السنين أو الفصول.

كذلك كان الغلاف الجوي ساخنا إلى درجة الاحمرار، ومختلفا في وجوهه الأخرى اختلافا تاما عما هو عليه الآن. فقد كان يحتوي، بالإضافة إلى غازاته المألوفة وكتلته الهائلة من بخار الماء، على جميع أنواع العناصر

والمركبات التي كانت تستطيع الوجود على هيئة غازات عند درجة حرارته المرتفعة. أما ضغطه فكان لا شك أعلى كثيرا مما هو عليه الآن.

ودار الزمان، فأصبحت السنون قرونا، والقرون ملايين السنين. وواصلت عملية التبريد التي كانت سريعة في باديء الأمر، نشاطها ببطء أكبر مع انخفاض درجة الحرارة. واكتسب الكوكب الحديث قشرة صلبة من الصخر، ثم ازداد سمك هذه القشرة الشبيهة بالخبث، وأصبحت أكثر ثباتا ورسوخا.

وأخيرا هبطت حرارة الجو إلى نقطة استطاع عندها البخار أن يتكاثف، وظهر الماء السائل إلى عالم الوجود. وبهذا الحدث بدأ فصل جديد في تاريخ الأرض، إذ قدر للماء السائل أن يسود الأرض وينحتها، ممهدا إياها ببطء لاستقبال الحياة.

ومن الجائز أن يكون قد مضى على الوقت الذي اكتسبت فيه الأرض سطحا صلبا عدة مئات الملايين من السنين قبل أن تبرد القشرة والغلاف الجوي بدرجة تسمح الآن في البحار، والأرض، والمناطق الجليدية القطبية، متجمعا كله تقريبا في الغلاف الجوي. ومع هبوط درجة الحرارة، أخذ الماء أيضا في الهبوط. ولا بد أن تكون قد حدثت فترة طويلة من الأمطار الجارفة المستمرة. إذ كانت طبقات الجو العليا تشع الحرارة بسرعة، فيتكاثف البخار ويسقط على هيئة أمطار، لا تلبث الأرض الساخنة أن تعيدها بسرعة إلى الجو في صورة بخار.

ولو كان هناك فلكي يرقب الأرض بمنظاره من كوكب آخر، لما تسنى له إلا رؤية السطح العلوي لسحب البخار. ويوجد اليوم شيء من هذا القبيل في المجموعة الشمسية، إذ لا يستطيع الفلكيون رؤية سطح الزهرة كوكبنا الجار. وذلك لأنه محتجب دائما وراء ستار ما من السحب، ولكن يبدو أن هذه السحب لا تتكون من بخار الماء. وليس هناك حتى من يعرف ماهيتها عن يقين.

ولم يكن سطح الأرض الذي سقط فوقه الماء لأول مرة كرويا تام الاستدارة إذا كانت أجزاء منه تتكون من صخور بازلتية، بينما كانت أجزاء أخرى تتكون أساسا من صخور أخف، كالجرانيت. وعلى عمق أميال قليلة من السطح، أحالت الحرارة المواد إلى ما يشبه اللدائن الطيعة التي استجابت ببطء للثقل الجاثم فوقها. فهبطت المناطق المكونة من صخور ثقيلة، بينما ارتفعت المناطق المكونة من صخور أخف وزنا إلى مستوى أعلى من ذلك يكون كرة تامة الاستدارة. وعندما برد السطح بدرجة تكفي لبقاء الماء فوقه، أخذ هذا الماء ينحدر إلى المناطق المنخفضة المكونة من الصخور الثقيلة ويملؤها، وبمرور الوقت تحولت هذه المناطق إلى المحيطات. وأدى هذا إلى حدوث مزيد من التعديل في السطح، فهبطت بعض المناطق إلى عمق أكبر، بينما ارتفع بعضها الآخر في مقابل ذلك. وهكذا تحولت مناطق الصخور الخفيفة إلى قارات، واندفعت أخف المناطق عاليا مكونة الجبال.

وكان أول ماء يدخل المحيطات أبعد ما يكون عن النقاء؛ إذ الأرجح أن الغلاف الجوي كان يحتوي على كميات ضخمة من الغبار، كما يحتمل أن تكون المياه الساقطة قد أزالت منه مركبات الكلور وغيره من العناصر. وكانت طبقات الصخور العليا تحوي بداخلها وفوقها جميع أنواع المواد التي تكثفت من الغلاف الجوي، وقامت سيول الماء بإذابة هذه المواد أو حملها معلقة. وجرفت المياه كل ما يمكنها نقله إلى المنخفضات وأدخلته في المحيطات والبخار. وعندما تبخرت هذه المياه، تركت حملها في البحر وعادت إلى الغلاف الجوي والأرض لتحمل مزيدا من المواد.

ويبدو من المؤكد أن المحيطات كانت مالحة منذ وقت مبكر جدا، والأرجح أن نسبة الكلوريدات فيها إلى المواد الصلبة الأخرى كانت أعلى حينذاك مما هي عليه الآن، وذلك لأن المواد الصلبة التي تحملها أنهار العالم الآن إلى المحيطات تتميز بنسبة من الكربونات أعلى بكثير منها في مياة المحيطات، وبنسبة من الكلوريدات أقل كثيرا.

وتصعد الحرارة من باطن الأرض إلى سطحها ببطء شديد، لأن القشرة الخارجية موصل رديء للحرارة. وقد أخذت الأرض تشع لفترة طويلة، لا يستطيع أحد تحديدها بدقة، وكمية من الحرارة في الفضاء أكبر بكثير مما كانت تتلقاه من الشمس. وكان الطقس أدفأ كثيرا مما أصبح عليه منذ ذلك الحين.

وأخيرا، وباستمرار عملية التبريد، أمكن التوصل إلى اتزان تقريبي بين الحرارة التي يتلقاها السطح من أسفل ومن الفضاء وبين الحرارة التي يفقدها بالإشعاع. وكان لعملية التبريد هذه أثر مهم جدا على سلوك المياه الموجودة في أنحاء العالم.

وحتى ذلك الحين، ولم تكن الأرض تعرف الماء إلا على هيئة بخار وسائل فقط. ثم حدث – في مكان ما من المناطق القطبية، أو فوق قمة أحد الجبال العالية – أن هبطت الحرارة إلى أقل من ٣٢ درجة، فظهر شيء جديد، وبدأت حقبة جديدة، إذ تمخضت الطبيعة عن الماء الصلب في صورة جليد، أو ثلج أو صقيع. ومع ازدياد برودة المناخ، أخذت حقول الثلج تنمو فوق الجبال، واكتسب العالم غطائيه القطبيين الناصعي البياض. ومن النتائج الأهم لازدياد برودة الطقس أنه زود الماء بقوة جديدة لتغيير وجه الأرض. ذلك أن عمل الماء في الصخور والتربة يقتصر على عمليات التآكل والإذابة طالما كان الطقس الدافيء سائدا. أما عند حلول الشتاء، فإن الماء السائل الذي يتوغل داخل كل شق وفجوة في الأرض يستطيع أن يتجمد، ويقوم بضغط هائل لشطر الصخور وشقها وتمزيقها، وتقليب التربة وتعبيدها.

ومنذ أخذ الماء يعمل في وجه الأرض والتغييرات والتعديلات تجري بلا انقطاع، وما زالت كذلك. وهذه التغييرات والتعديلات هي التي هيأت لنا نوع الأرض التي نعيش عليها، وهي التي سوف تحدد نوع الأرض التي سترثها سلالتنا بعد مليون عام من الآن – إذ قدر لنا البقاء حتى ذلك

الوقت. وكما سنرى في الباب الثاني، فإننا نستطيع التحكم – إلى حد ما – في عمل الماء، بحيث نسخره في خدمة مصالحنا، ولكن في تلك الأيام التي أكتب عنها لم يكن هناك حتى نصل واحد من النجيل يمكن أن ينتفع بالماء.

وقد استمرت الفترة التي سبقت ظهور الحياة مئات الملايين من السنين، ولكن لا يعرف من تاريخها إلا منا يتعلق بتطوراتها الجيولوجية. إذ كان الليل والنهار، والفصول والسنون، تتعاقب في تتابع دائم لا ينقطع. وليس لدينا من دليل عليها الجيولجي أساسا في تفسير العلاقة بين التكوينات الصخرية، وتحديد تاريخها. وهكذا يتضح أن معرفتنا بالعصور التي خلت من الحياة انما هي معرفة تقريبية مبهمة.

لقد كان العالم خاويا، قاحلا، رتيبا، عندما لم يكن يوجد به طير في السماء، أو حيوان على الأرض يغطيها لونا أو يلقي عليها ظلا، أو شائبة من الحياة الطافية، أو حتى أدنأ أنواع البكتيريا. وكان ضوء الشمس موجودا، ولكن لم يكن هناك كلوروفيل كي يستخدم طاقة هذا الضوء. وكانت الأمطار تسقط على الصخور الجرداء ثم تعود إلى البحر المجدب. وكانت المياه والرياح والشمس والصقيع منهمكة في تكوين التربة، وملء المحيطات بكثير من المواد، وإعداد الأرض والبحار لاستقبال حشود الحياة القادمة.

لقد كان عالما بلا صوت، إذ خلا من حفيف الأوراق الخضراء وأغاني الطير الممتزجة بعواء الرياح، واندفاع جداول المياه، وتلاطم الأمواج، وقصف الرعد، وأحيانا زمجرة الطاقة البركانية وانفجاراتها. ولكي ندرك الصورة التي كان عليها العالم في ذلك الحين، علينا بالذهاب إلى مجاهل الصحراء الجرداء أو حقول الجليد القطبية الخالية من الحياة.

والأرجح أن الهواء كان يحتوي على كمية أكبر كثيرا من ثاني أكسيد الكربون، وكمية أقل من الأكسجين، بحيث كان من الممكن أن نجد صعوبة في التنفس في هذا الهواء والحياة فيه، والأرجح أيضا أن القشرة الأرضية كانت أقل ثباتا مما هي عليه اليوم، لأنها كانت أقل سمكا وأكثر سخونة ولكن من المؤكد أن سطح اليابسة كان أقل، إذ أن حقول الجليد أو الثلاجات القطبية لم تكن قد حاصرت الماء بداخلها، كما أن الماء الأرضي كان أقل. وأغلب الظن أن الجداول والأنهار كانت أسرع مما هي عليه الآن، كما كان تسرب مياه الأمطار من الأرض أسرع وأعنف كثيرا، إذ لم يكن هناك سوى قليل من التربة كما لم تكن هناك أرض معشبة أو غابة تمتص الماء وتحتفظ به.

وكانت قشرة الأرض الأصلية تتكون من مواد منصهرة، تتألف مما يطلق عليه الجيولوجيون اسم الصخور النارية. وكان أكبر عمل قام به الماء عبر العصور هو تغيير تلك الصخور النارية إلى تربة وصخور رسوبية. فالماء يعمل دائما، بمساعدة الرياح والصقيع وثاني أكسيد الكربون الموجود في الهواء، على شق الصخور، وطحنها، وإذابتها. كما ينقل كميات هائلة من

الحبيبات الصخرية باستمرار من المرتفعات إلى المنخفضات، حيث تنتشر في السهول ودوال الأنهار. ويحمل الماء أدق الحبيبات إلى أبعد مسافة، حيث يدخلها في المحيطات والبحار في كثير من الأحيان. أما المواد الذائبة فيحملها الماء على هيئة محلول حتى يصل إلى نقطة التشبع، أي حتى يكون قد استوعب أقصى كمية يستطيع حملها، وهذه الكمية تتفاوت إلى حد ما تبعا لدرجة حرارة الماء، ووجود ثاني أكسيد الكربون، وغير ذلك من العوامل، فإذا انخفضت حرارة المحلول المشبع – مثلا – فإن بعض مادته الذائبة يترسب.

وتبلغ كميات المواد التي تنقل إلى المحيطات حدا ضخما، إذ أن أنهار الولايات المتحدة وحدها تحمل اليوم إلى مياه المد ٢٧٠.٠٠٠.٠٠٠ طنا من المواد الذائبة و ٥١٣.٠٠٠.٠٠٠ طنا من المواد المعلقة في كل عام. وهذا يعني أن قدما من الصخر يزال من جميع مساحة الولايات المتحدة التي تبلغ ٣.٠٠٠.٠٠٠ ميلا مربعا في كل تسعة آلاف سنة. وعلى هذا المعدل، فإن سلسلة الجبال التي يبلغ ارتفاعها ١٠.٠٠٠ قدما تتآكل وتنخفض إلى ارتفاع ٥٠٠٠ قدما في خمسة وأربعين مليونا من السنين. على أن معدل التآكل المتوسط هذا قد يكون أسرع من اللازم بالنسبة إلى بعض الجبال، فإذا فرضنا أنه انخفض إلى النصف فقط، فإن سلسلة الجبال السابقة التي يبلغ ارتفاعها ميلين تنخفض إلى نصف هذا الارتفاع في ٩٠.٠٠٠.٠٠٠ سنة، وهو ليس بالوقت الطويل جدا عندما نتحدث من الزمان على المستوى الجيولوجي.

فماذا حدث إذن لذلك الفيض الهائل من المواد الذي استمر يصب في البحر كل عام منذ أن سقط أول ماء على الأرض؟.. لقد استخدم بعضه في تزويد المحيطات بمحلول مكون من عدة مواد. والواقع أن معظم العناصر أو المركبات تذوب في الماء إلى درجة ما. وهذا أمر مهم، لأنه كان لا بد للحياة أن تبدأ في البحار، ولأن هذه الحياة ما كانت لتوجد في الماء الذي لا يحتوي على المواد اللازمة لبناء أجسام الكائنات الحية المعقدة وتغذيتها. ومع ذلك، فإن أغلب الحمل الذي جلبه الماء إلى البحر استخدم في تكوين الصخور الرسوبية.

ونظرا إلى أن المواد التي جرفت من اليابسة أدت إلى زيادة الثقل الجاثم فوق بعض المناطق الواقعة على شواطئ القارات أو في البحار الداخلية، فقد أخذ قاع هذه المناطق في الهبوط ببطء. واستجابت المادة المرنة الساخنة الواقعة تحت السطح بنحو أربعين ميلا إلى مناطق الضغط المتزايد عن طريق الهبوط في هذه المناطق والارتفاع في أماكن أخرى. واستمرت هذه العملية كلما تراكم مزيد من المواد، والأرجح أن كل مرحلة من هذه العملية كانت تتميز بحدوث الزلازل.

ويعتقد أن الرواسب التي ألقاها النيل في البحر المتوسط يزيد سمكها على أربعة أميال، ولما كان قاع البحر يهبط كلما ازداد الحمل الواقع عليه، فإن عملية تكوين الصخور تستمر على بعد كبير من القاع الحالي. فعندما تتراكم المواد التي يرسبها الماء وتصل إلى سمك مناسب، يقوم الضغط والحرارة المتزايدة بتحويلها إلى صخور. وهكذا الأحجار الرملية،

والاردوازية، والطينية (الطفل)، وغيرها من الصخور الرسوبية قبل مجيء الحياة إلى المياه، وتتكون اليوم أيضا صخور جديدة. وفيما بعد تولت الكائنات الحية، مثل بوليبات[١٧] Polyps المرجان التي تبنى بواسطة الحجر الجيري، مهمة تكوين الصخور على نطاق واسع.

ومن المشكوك فيه أن يكون أحد قد تمكن قط من رؤية أية صخور من صخور القشرة الأرضية الأصلية أو من الصخور الرسوبية الأولى، وقد يكون بعضها قد ظل في قيعان المحيطات العميقة، ولكن أغلبها دفن تحت سيول المواد المنصهرة التي تدفقت فيما بعد، أو غطي بواسطة الرواسب التي تكونت بعد ذلك. ولعل من حسن حظنا أن الأرض لم تتكون على هيئة كرة تامة الاستدارة، فلو كانت كذلك لغطت المياه سطح الأرض كله إلى عمق عدة آلاف من الأقدام، ولما وجدت حياة على اليابسة. ونظرا إلى أن البحر كان سيحتوي في هذه الحالة على مواد ذائبة أقل كثيرا مما يحويه الآن، فإن الحياة فيه كانت تغدو عندئذ أقل منها الآن إلى حد بعيد، وكان ما يوجد منها أقل خصبا وتنوعا. وذلك أن الحياة لم تصل إلى أعلى مراحل تطورها، وتنتج أذكى الحيوانات، إلا على اليابسة والأرض، من الناحية النسبية، ليست ملساء تماما ككره البلياردو، ولكنها أملس كثيرا من البرتقالة أو التفاحة المجعدة قليلا. وقد يبدو هذا غريبا لأول وهلة، خاصة لو كنت قد ألقيت مؤخرا نظرة على سلسلة جبال عالية أو على الوادي

---

(١٧) هي الوحدات الحيوانية التي تتكون منها مستعمرات المرجان، وعلى أشبه بحيوان الهيدرا المعروف. (المترجم)

المعروف باسم "جراند كانيون" Grand Canyon[١٨] والواقع أن تقلص الأرض عندما بردت أدى إلى تكوين طيات وتجعيدات في سطحها. وما سلاسل الجبال إلا التجعيدات التي حدثت في قشرتها الخارجية الرقيقة.

كذلك يؤدي تقلص التفاحة عندما تجف وتنكمش إلى تكوين تجعيدات في قشرتها واعجاج في شكلها. وإذا كان قطر التفاحة ثلاث بوصات، فإن الفرق بين ارتفاع تجعيداتها ومنخفضاتها البالغ ١/١٦ من البوصة يكون ١/٤٨ من قطرها ويبلغ قطر العالم نحو ثمانية آلاف من الأميال، وقد يكون الفرق بين الارتفاع بين قمة سلسلة عالية من الجبال وقاع بقعة عميقة في المحيط ثمانية أميال، وهو حوالى جزء من ألف من قطر الأرض. وعلى هذا، يمكن أن يقال أن سطح الأرض أملس من التفاحة المجعدة عشرين مرة، أو أنه أملس كالبيضة تقريبا.

وعندما نلقي نظرة شاملة على العالم اليوم، يبدو – على الأرجح – أن أعماق المحيطات هي الأجزاء الوحيدة التي ظلت على حالها تقريبا كما كانت في البداية، فسلاسل الجبال تقف حيث كانت توجد في وقت من الأوقات بحار ضحلة، والمحيطات تهدر فوق ما كان بالأمس أرضا يابسة. ولكما تعمقنا في معرفة تاريخ الأرض عن طريق دراستنا للسجلات

---

(١٨) مضيق خانق غائر في نهر الكولورادو، يقع في الجزء الشمالي الغربي من ولاية أريزونا. عمقه ميل، وعرضه يتراوح بين ٤ و ١٨ ميلا، وطوله ٢١٧ ميلا. يتميز بأن طبقاته الصخرية تحتفظ بسجل التغيرات الجيولوجية التي طرأت على الأرض منذ أقدم العصور الجيولوجية. (المترجم)

المسطورة بين طيات الصخور، ازددنا اقتناعا بأن هذا العالم كان، ولا يزال، وسيكون عالما متغيرا لفترة طويلة جدا.

والواقع أن التغيرات الدائمة في سطح هذا الكوكب إنما هي من عمل الماء أساسا، ولكن المناطق الشاسعة التي تغطيها المياه العميقة هي أقل المناطق تغيرا. فالماء من فوقها ساكن، والرواسب التي تسقط فيها قليلة جدا، أما الشمس والرياح والصقيع، التي تعمل دائما في اليابسة وتؤثر فيها، فهي غير معروفة في الأعماق السحيقة المظلمة.

الفصل الرابع

المحيطات

لو أن هناك من يقيم في جانب القمر الذي يواجهنا دائما، ويرقب الأرض بواسطة منظار قوي لفترة تمتد عدة مئات الملايين من السنين، لاسترعت انتباهه معالم عديدة، ولكن أطرف هذه المعالم جميعا يرجع إلى مادة لا يستطيع أن يعرفها مباشرة في موطنة الخالي من الماء. وقد يتأثر هذا المواطن القمري برؤية مناطقنا القطبية المتألقة، وبحيراتنا الكبرى، وبحارنا الداخلية العظيمة. وقد يتمكن من رؤية بعض أنهارنا الكبيرة، فضلا عن مناطق السحب والضباب المتنقلة، وسلاسل الجبال العالية، والسهول والصحاري الواسعة، ولكنه سيدهش كل الدهشة عندما يعلم أن الماء يغطي ثلاث أرباع سطح الأرض تقريبا. وقد يلاحظ أن المحيطات تكون مجموعة مستمرة متصلة تحيط بكتل اليابسة التي نطلق عليها اسم القارات والجزر، وتعزلها بعضها عن البعض.

كذلك قد يلاحظ هذا الفلكي القمري الذي نتخيله، حسب مقاييسه الزمنية، أن سطح الأرض متقلب إلى حد بعيد. فها هو ذا يرى أن مناطق هائلة تتعرض للغمر بالماء، بينما تأخذ غيرها في الظهور، وأن سلاسل الجبال ترتفع حيث كانت البحار الضحلة، وأن هذه السلاسل سرعان ما تبدأ في التآكل فتتكون السهول والدوال من موادها. وقد تبدو

المعالم الأرضية لمن يلاحظها من سطح القمر الذي يكاد لا يطرأ عليه تغيير، كما لو كانت متسمة بطابع التحول المستهجن، ومن الجائز أيضا أن يحسدنا هذا الملاحظ على التغير والتنوع السريع الذي يتميز بها كوكبنا غير الثابت. ولكن من المؤكد أنه سيستنتج آخر الأمر أن المحيطات هي الأجزاء الأرضية الوحيدة التي تتميز بدرجة معقولة من الثبات والدوام، فهي تظل، على مر العصور، أكبر معالم الأرض وأبقاها. ويستطيع هذا المراقب، من مكانه خارج الأرض، أن يلاحظ الأرض وهي تدور سبعا وعشرين مرة خلال يوم واحد من أيامها القمرية، كما يستطيع دراسة سطحها كله ورسم خرائط له، وهو أمر يستحيل علينا القيام به بالنسبة إلى القمر، ما لم تصبح سفن الفضاء التي كثر النقاش حولها حقيقة واقعة [١٩].

والقمر يدور حول محوره مرة واحدة في نفس الوقت الذي يستغرقه لإكمال مدارة حول الأرض. وإذا كنت لا تفهم حتى الآن لماذا لا نرى مطلقا أكثر من وجه واحد من وجهي القمر، فارسم نقطة على قطعة من الورق (لتمثل الأرض). ثم ضع قطعة من النقود فوق الورقة بحيث يتجه وجهها ناحية الشرق. والآن حرك قطعة النقود حول النقطة في اتجاه عقارب الساعة مسافة ربع دائرة، مع إدارتها بحيث يتجه وجهها ناحية الجنوب، ثم حركها مسافة ربع آخر من الدائرة، مع إدارتها بحيث يصبح

---

(١٩) أطلق الاتحاد السوفييتي أول أقماره الصناعية في أكتوبر عام ١٩٥٧ وتبعته الولايات المتحدة في يناير عام ١٩٥٨. ثم توالى إطلاق الدولتين لمختلف أنواع الأقمار الصناعية، التي قام أحدهما – وهو روسي – بتصوير ٧٠% من جانب القمر البعيد عنا من مسافة ٤٠.٠٠٠ ميل. كما أطلقت الدولتان مركبات فضائية تحمل بشرا. (المترجم)

وجهها في مواجهة الغرب، وهكذا إلى أن تعود إلى الموضع الأول. وبهذا تكون قطعة النقود قد فعلت تماما ما يفعله القمر في سبع وعشرين يوما وربع اليوم عندما حول الأرض، مع ملاحظة أن نفس الجانب ظل متجها دائما ناحية النقطة.

وقد يلاحظ من يرقب الأرض من القمر أشياء لا يستطيع سكان الأرض الاهتداء إليها حتى يبذلوا جهدا صادقا في استكشاف سطحها كله، ومسحه، وعمل خرائط له. ولعله يتعجب، كما نفعل نحن، إذ يرى أن توزيع أسطح اليابسة والماء غير متساو أو منتظم على الإطلاق، كما أنه قد يتساءل أيضا عن سبب ذلك وكيفية حدوثه. والواقع أن هناك قدرا كافيا من الماء لتغطية الأرض كلها لو أن سطحها كان أملس ككرة البلياردو. غير أن الاختلافات البسيطة في الارتفاع هي التي أكسبت الأرض يابستها. ولكن لماذا يوجد أكثر من ثلاثة أرباع اليابسة شمالي خط الاستواء؟ يبدو أن أحدا لا يعرف ذلك. كذلك لا يوجد تجانس أو اطراد فيما يتعلق بحجم القارات والمحيطات أو شكلها، باستثناء أن إحدى القارات وأحد المحيطات أكبر كثيرا من الآخرين. وأكبر معالم الأرض هو المحيط الهادي (الباسيفيكي) الذي إذا أسقطت فيه جميع القارات والجزر، لما ظهر شيء منها فوق سطحه، والذي تفوق مساحته مجموعة السطحين اللذين يشغلهما أكبر محيطين تاليين له، والذي يبلغ متوسط عمقه من الضخامة حدا يجعله أكبر في الحجم من المجموع الكلي لمحيطات العالم وبحارة الأخرى.

وسوف يتعجب ملاحظنا القمري ويفكر في طبيعة هذه المادة التي يبدو أنها تسود سطح الأرض، ولكن ربما لم يدر بخلده أبدا أن ما يراه في ثبات المحيطات، وتمدد الغطاءين القطبيين وتقلصهما، والتغيير المستمر للسحاب والضباب، إنما هو صور مختلفة لمادة واحدة، هي التي أزالت الجبال وكونت السهول، وهي التي أحدثت – تبعا لندرتها أو وفرتها – ذلك التباين بين المراعي والأدغال الخضراء.

ولننتقل الآن من هذه الملاحظات الخيالية التي أجريناها من القمر إلى الحديث عما عرفه الإنسان عن الأجسام المائية التي تغطي ذلك الجزء الهائل من الأرض. والواقع أن ما عرفه عنها يبلغ من الكثرة بحيث أننا لا نستطيع أن نذكر إلا قليلا من الوقائع الأكثر أهمية وطرافة. أما أولئك الذين يرغبون في معرفة المزيد، فسيجدون كثيرا من الكتب الشيقة في أية مكتبة جيدة.

أول هذه الوقائع هو أن المحيطات والبحار ليست ماءً فحسب، بل أن الماء المطلق النقاء في الحالة السائلة لا يوجد، كما سبق أن ذكرت، في الطبيعة من الوجهة العملي، إذا أن أعظم المذيبات (الماء) يأخذ شيئا من كل شيء يلمسه تقريبا. ويصرف جميع الماء الذي يسقط على اليابسة في المحيطات أو في الأحواض المغلقة كبحر قوزين والبحر الميت. بل أن الأمطار، حتى أثناء سقوطها، تلتقط الغبار من الجو. وعندما يجري الماء فوق سطح الأرض أو يتغلغل في ثناياها، فإنه يتصل بجميع العناصر والمركبات تقريبا، ولذلك فإنه يلقي في البحار والمحيطات باستمرار حملا من

جميع المواد الأرضية تقريبا في الحالة المذابة أو المعلقة. كذلك تتلقى البحار كثيرا من الغبار والأتربة التي تحملها الرياح. ومن المعروف الآن أن ما يربو على تسع وأربعين عنصرا توجد في مياه البحر.

ويعرف مجموع المواد المعدنية التي يحتفظ بها ماء المحيط في الحالة الذائبة "بمحتواه الملحي" أو "درجة ملوحته"، ويتكون نحو ثلاثة أرباع هذه المجموعة من الملح العادي الذي نستخدمه في طعامنا، أما الجزء الباقي فيتألف من كميات ضئيلة جدا من تشكيلة ضخمة من المواد. فيوجد قليل من الذهب مثلا، ولكن أحدا لم يهتد إلى وسيلة لاستخراجه بطريقة اقتصادية. وقد تعلمنا أخيرا كيف نستخلص كميات كبيرة من البروم لاستخدامه في صنع الجازولين المانع للدوي[٢٠] وكذلك من الماغنسيوم ذلك الفلز الخفيف جدا والمتين في نفس الوقت.

ويتضمن استخراجه هذه العناصر التعامل مع كميات ضخمة من الماء، وحتى في حالة الاستخراج التام، وهو أمر مستحيل بالطبع، فقد يكون من الضروري استخدام ١٢.٥٠٠ رطلا من الماء ومعالجتها كيميائيا للحصول على رطل واحد من بروميد المغنسيوم. غير أن عملية تعدين المحيط هذه تتميز بميزة واحدة على عملية التعدين الأرضي، ذلك أن الإنسان بدأ يقلق بالفعل على استنفاد رواسب المواد الخام، كالحديد،

---

(٢٠) هناك مواد تضاف إلى البترول لتقليل ميله إلى إحداث صوت في الآلات والمحركات. وهذه المواد تعرف بالمواد المضادة للخبط أو المانعة للدوي anti-knock substances ومن أمثلتها: رباعي إيثيل الرصاص lead tera-ethyl (المترجم)

والنحاس، والزنك، والكروم. ولكنه يستطيع استخراج كميات من الماغنسيوم والبروم من المحيط تفوق كثيرا ما نحتاجه منهما لمدة مليون سنة قادمة، دون أدنى خوف من استنفاد هذا الموارد، ذلك إذا ظل الجنس البشري باقيا حتى هذه المدة، وكان لا يزال في حاجة إلى هذين العنصرين. ويمكننا أن نتخيل مدى ضخامة المحيطات، وما تحمله من المواد المعدنية، إذا عرفنا أنه يوجد فيها من الملح ما يكفي لتغطية الأرض كلها إلى عمق ١١٢ قدما.

وتتراوح كمية الأملاح في المحيط بين ٣٤ و ٣٧ جزءا في كل ألف جزء من ماء المحيط، وتقدر درجة الملوحة المتوسطة عادة بالرقم ٣٥. وحيثما يتزايد سقوط الأمطار، أو يحدث تخفيف كبير بواسطة الماء العذب من اليابسة، يمكن أن تنخفض دجة الملوحة إلى ٣٠ أما في المناطق المعزولة، كالبحر الأحمر، التي يتبخر فيها الماء بدرجة عالية جدا، فقد تصل الملوحة إلى ٤٠، وربما أكثر. وباستثناء هذه الحالات الخاصة، فإن تحليل ماء البحر يسفر عن نفس النتائج تقريبا في جميع أنحاء العالم. والجدول التالي يوضح النسب المتوسطة لأهم الأملاح الموجودة في ماء المحيط.

	في كل ١٠٠٠ جزء من الماء	النسبة المئوية من مجموع الأملاح
الملح العادي (ص كل)	٢٧.٢١	٧٧.٧٦

كلوريد الماغنسيوم (مغ كل٢)	٣.٨١	١٠.٨٨
كبريتات الماغنسيوم (مغ كب ٤١	١.٦٦	٤.٧٤
الجبس، أو كبريتات الكالسيوم (كا كب ٤١)	١.٢٦	٣.٦٠
كبريتات البوتاسيوم (بو٢ كب أ٤)	٠.٨٦	٢.٤٦
كربونات الكالسيوم (ك كا ٣١)	٠.١٢	٠.٣٤
بروميد الماغنسيوم (مغ بر٢)	٠.٠٨	٠.٢٢
	٣٥.٠٠	١٠٠.٠٠

تلك هي ملوحة البحر اليوم، التي تجعله مختلفا تماما عن الأنهار والبحيرات، ومن مظاهر هذه الاختلافات: التفاوت في درجة التجمد:؛ فالماء العذب يتجمد عند درجة ٣٢ ف (الصفر المئوي)، بينما ليس لماء البحر نقطة تجمد ثابتة. فهو يبدأ في التجمد، في حالة الملوحة العادية البالغة ٣٥، عند درجة ٢٨.٦، ولكن الماء فقط هو الذي يتجمد. أما المحتوى الملحي فيطرد إلى الماء المحيط بالكتلة المتجمدة، مما يؤدي إلى زيادة ملوحته، وخفض نقطة تجمده. وإذا واصلت درجة الحرارة انخفاضها، تستمر هذه العملية حتى تتكون في النهاية كتلة صلبة من الجليد وخليط غليظ القوام من الجليد وبلورات الملح. ونحن لا نستطيع شرب ماء المحيط،

ولكن يمكننا إسالة جليده، والحصول منه على ماء صالح للشرب إن لم يكن مستساغا.

والمواد التي تجلب باستمرار إلى البحار لا تبقى كلها في الماء، فالمواد المعلقة تهبط تدريجيا إلى القاع، حيث ترسب الحبيبات الخشنة الثقيلة بالقرب من الشواطيء، بينما تحمل الحبيبات الدقيقة الخفيفة مسافات أبعد وترسب في المياه الأعمق. أما الأملاح الذائبة، خاصة أملاح الكالسيوم والسليكا، فتستخدمها كائنات حية لا حصر لها في بناء الأصداف والهياكل الصلبة.

والواقع أن عمليات البناء والتشييد التي يقوم بها الإنسان لتتضاءل حقا إلى جانب ما تقوم به الحيوانات المرجانية في هذا المضمار، ذلك أن جميع المنشآت والمباني التي شيدها الإنسان منذ أن وضع حجرا فوق آخر لأول مرة لا تضارع حجم مساكن الأحجار الجيرية التي بنتها الحيوانات المرجانية لتشييد جزيرة واحدة فقط من الجزر المرجانية الكبيرة التي تكثر في المحيط الهادي. كذلك لا تنفك الدياتومات[٢١] diatoms والنقعيات [٢٢]

([٢١]) الدياتومات، نباتات مجهرية وحيدة الخلية تنتمي إلى الطحالب، توجد فرادى أو متجمعة في مستعمرات. يتكون جدار الخلية، وهو عبارة عن نصفين يدخل أحدهما في الآخر، من مادة بكتينية مدعمة بالسليكا. وقد أدى تراكم أعداد لا حصر لها من هذه الجدران السليكية إلى تكوين طبقات تعرف بالرواسب السليكية أو الدياتومية.

([٢٢]) النقعيات أو النقاعيات، اسم كان يطلق على كائنات عضوية مجهرية توجد في نقاط المواد العضوية، وتشتمل على عدة أنواع من الأوليات (البروتوزوا) والعجليات Rotifera. كذلك يطلق هذا الاسم، بمعنى محدد، على الهدبيات Ciliophora وهي طائفة من الحيوانات الاولية تتميز بأن لها أهدابا ونواة مزدوجة. (المترجم)

infusoria والمثقبات [٢٣] foraminifera الطافية، عن استخراج المواد المعدنية من الماء. وعندما تموت تهبط أصدافها وهياكلها الصلبة إلى القاع، وتغطي قيعان بعض البحار بواسطة رواسب دياتومية، تتكون من هياكل الدياتومات.

وفي الأجزاء العميقة من المحيطات التي تبعد كثيرا عن الشواطئ، يكون تراكم الرواسب على القاع بطيئا جدا، وقد يستغرق بناء بضعة أقدام من هذه الرواسب مئات عديدة من ملايين السنين. ولذلك لا توجد صخور رسوبية في هذه الأجزاء، أما بالقرب من شواطيء القارات والجزر الكبيرة، وكذلك في البحار الداخلية والبحيرات، فيستمر بناء الصخور، ويكون سريعا بصفة خاصة بالقرب من مصاب الأنهار. ويستمر تراكم الرواسب ملايين السنين، وقد يصل سمكها إلى عدة أميال إذا كان قاع البحر في حالة هبوط. وقد حفرت بعض آبار النفط إلى عمق ثلاثة أميال في الصخور الرسوبية التي خلفتها البحار القديمة. وحيثما وجدت أحجار جيرية، أو رملية، أو اردوازية، حتى لو كانت في مكان متغلغل في اليابسة وفوق قمة احد الجبال، فلتكن على ثقة من أن بحرا كان هناك في وقت ما. ولقد كانت قمة جبل إيفرست، التي يزيد ارتفاعها على ٢٩.٠٠٠ قدما

---

(٢٣) المثقبات أو المنخريات، مجموعة من الحيوانات الأولية ذات أصداف جيرية، ولها أقدام كاذبة تبرز من عدة ثقوب في الصدفة. وقد كونت أصداف هذه الحيوانات (بعد موتها) جزءا كبيرا من قاع المحيطات، إذ تساهم، في بعض الأحيان، بحوالي ٧٠% من المادة الطباشيرية التي قد يبلغ سمكها مئات الأقدام. (المترجم)

فوق مستوى سطح البحر، قاعا لأحد البحار ذات يوم. حقا إنه لعالم متغير:

فحيثما تعج مدننا اليوم بالضجيج

كان سكون البحر مخيما في وقت ما،

وحيثما يتموج البحر الآن في هدوء

كانت هناك سلسلة جبال شامخة

ومن الأمور الأخرى التي نعلمها عن المحيط، أنه لا يكف عن الحركة دائما وفي كل مكان، فهو في الواقع جهاز متحرك، ولهذه الخاصية أثر عميق على العالم وعلى الحياة. وهناك أسباب عدة لحركة الماء، ولكن أغلب هذه الأسباب، مثلها في ذلك مثل كل شيء تقريبا يحدث في الأرض، يرتد إلى الشمس، وفي حالة حركات المد ترتد هذه الأسباب إلى القمر أيضا. وتدور حركات المد الكبرى حول الأرض متمشية مع دوران القمر، الذي تعمل جاذبية الشمس أحيانا على تقوية جاذبيته، وتعمل أحيانا أخرى على إضعافها. فعند ظهور القمر جديدا وعند اكتماله، تعمل هاتان الجاذبيتان معا، وتؤديان إلى موجات المد "الربيعية" أو العالية، وفيما بين هاتين الحالتين، تأتي موجات المد "المحاقية" أو المنخفضة.

وترتفع مياه المد مرتين يوميا مع دوران الأرض حول نفسها، واستجابة مياهها لشد القمر. وتنساب مياه المد هذه إلى مسافات بعيدة فوق الخلجان والأنهار، تبلغ ألفا وخمسمائة ميلا في حالة نهر الأمازون.

ويعود الجزر إلى خفض المياه مرتين يوميا عندما تخف قبضة الجذب القمري.

وقد لاحظ البحارة منذ أقدم العصور حركات المد، واستخدموها في الملاحة، وسرعان ما أدركوا أنه توجد علاقة ما بين حركة الماء وموضع القمر، ولكنهم لم يفهموا سبب ذلك أو كيفيته.

وقد أدرك "بليني" [٢٤] Pliny، الذي عاش في القرن الأول الميلادي، أن حركات المد تحدث بفعل الشمس والقمر معا.

ويؤثر شكل الساحل إلى حد كبير على ارتفاع موجات المد بالقرب من اليابسة؛ فقد لوحظت في خليج "فندي" [٢٥] Fundy موجات مد وصل ارتفاعها إلى ستين قدما. أما في المحيط المكشوف، على بعد كبير من اليابسة، فقد بلغ متوسط ارتفاع المد، كما لوحظ من جزيرة صغيرة في المحيط الهادي، نحو قدمين ونصف القدم. وعلى الرغم من أن البحار الداخلية، بما فيها البحيرات الكبرى بل والبحر المتوسط أيضا، تخلو عمليا من حركات المد، فإن القياسات الدقيقة تكشف عن وجودها.

---

(٢٤) اسمه الحقيقي جايوس بلينيوس سيكندس Caius Plinius Secundus (٣٢ – ٧٩م) وهو عالم طبيعي روماني أشهر مؤلفاته موسوعة التاريخ الطبيعي التي تقع في ٣٧ مجلدا، وتضم مجموعة ضخمة من المعلومات القديمة (المترجم)

(٢٥) خليج ضيق يطل على المحيط الأطلنطي (طوله ١٠٠ قدم وعرضه ٦٠ عند المدخل)، يقع بين مقاطعة نيوبرونزويك والجزء الجنوبي الغربي من مقاطعة نوفاسكوشيا بكندا. (المترجم)

وتؤدي القوى الهائلة التي تسبب موجات المد إلى تشويه شكل الأرض الصلبة ذاتها، تماما كما يحدث عند ضغط كرة من المطاط؛ فعلي الرغم من أن الأرض تكاد تكون في صلابة الفولاذ، فإن الأرض التي تحت أقدامنا ترتفع وتنخفض بضع بوصات مرتين يوميا استجابة لجذب القمر والشمس. ولا يمكن، بالطبع، ملاحظة هذه الحركة بطريقة مباشرة، إذ أننا وكل ما يحيط بنا نتحرك معا إلى أعلى وإلى أسفل.

وقد أجرى العالم الأمريكي "ألبرت .أ. ميكلسون" Alpert A. Michelson الذي بذل الكثير من أجل تزويدنا بقياس دقيق لسرعة الضوء، والذي مهدت تجاربه بالاشتراك مع "مورلي" Morly الطريق أمام نظرية "أينشتين" في النسبية، أجرى تجربة من أطرف التجارب التي أجريت على حركات المد. فقد ملأ أنبوبة دقيقة التدريج ارتفاعها ٥٠٠ قدما إلى نصفها بالماء. وقام القمر والشمس بجذب الماء في هذه الأنبوبة تماما كما يجذبان ماء المحيطات، ولم يتسن "لميكلسون" تعيين الفرق بين ارتفاع الماء عند طرفي الأنبوبة إلا باستعمال المجهر. وبهذا النموذج المصغر، استطاع "ميكلسون" ملاحظة جميع ظواهر المد التي تحدث في المحيطات، ومن ضمنها موجات المد العالية التي تحدث عند ظهور القمر جديدا، حين يكون هو والشمس على نفس الجانب من الأرض [٢٦].

([٢٦]) بفضل تجربة "ميكلسون"، أمكن حساب أن ارتفاع موجات المد المحيطية يبلغ حوالي ٦٩ % من ارتفاعها لو لم تؤد نفس القوى التي تسبب هذه الموجات إلى حدوث تغيير في شكل الأرض أيضا.

وتسدي الطاقة الهائلة التي تبذلها حركات المد بعض الخدمات الجليلة للحياة على الأرض، فالحركة في بيئة الحياة شرط ضروري لبقائها، وما الركود إلا نذير للموت. ولا بد للحيوانات والنباتات أن تتحرك لتحصل على غذائها، أو تنتظره حتى يجيء إليها. وكثير منها يفعل هذا وذاك. فجذور النباتات تتحرك لتعثر على ما تحتاجه من التربة، بينما تجلب حركة الهواء للأوراق موردا دائم التجدد من ثاني أكسيد الكربون. أما في المياه، فإن حركة موجات المد واكتساحها لما في طريقها تجلب الطعام لعدد لا حصر له من الحيوانات الصدفية (المحار)، وثاني أكسيد الكربون الذي لا غنى عنه للأعشاب البحرية، كما أنها تطهر القنوات، وتحفظها صافية، وتصون المساحات المائية الكبيرة من الركود.

وكانت الأرض في أيامها الأولى تدور حول محورها بسرعة أكبر كثيرة من سرعتها الحالية، ويعتقد بض العلماء أن الدورة حينذاك كانت تتم في نحو أربع ساعات، وهذه أحد الأسباب التي بنيت عليها النظرية القائلة بأن القمر انفصل من الأرض وقذف بعيدا عنها. فما الذي أدى إلى خفض سرعة كوكبنا حتى وصل طول اليوم فيه إلى أربع وعشرين ساعة، على الرغم من أن الحركة والدوران لا يتعرضان للاحتكاك أو المقاومة في الفضاء الحالى؟ إن الاعتقاد المتفق عليه بصفة عامة هو أن حركات المد هي المسئولة عن ذلك.

فعندما تكتسح المياه الناتجة عن حركات المد النهارية المناطق الضحلة نسبيا، كما هي الحال في بحر "بيرينج" Bering، يحدث احتكاك

بين الماء والقاع، يكون بمثابة "فرملة" ضخمة تعمل على إيقاف حركة الأرض. غير أن الزخم (كمية الحركة) الزاوي angular momentum للأرض يبلغ حدا من الضخامة يتضاءل إلى جانبة التباطؤ العارض في دورانها واستطالة يومها – اللذين لا يحدثان إلا بمعدل جزء ضئيل من الثانية كل ألف عام. غير أن هذه العملية استمرت طوال بليون ونصف بليون من السنين تقريبا، كما أن القمر كان خلال جزء من هذا الوقت أقرب كثيرا إلى الأرض مما هو عليه الآن، ومن ثم كانت حركات المد أقوى كثيرا، وهكذا يمكن بسهولة تفسير الفرق بين يوم الأربع ساعات ويوم الأربع وعشرين ساعة.

وتسبب الرياح حركات مائية هائلة، وعندما يكون اتجاهها ثابتا بدرجة ملحوظة، تؤدي إلى حدوث تيارات منتظمة يمكن أن تحرك الماء عدة آلاف من الأميال، وهناك عوامل تؤثر في التيارات والانسياب المحيطية، وهي: تسخين المياه السطحية بواسطة الشمس، وزيادة البخر من الأجزاء الساخنة، وتغيرات درجة الملوحة، ودوران الأرض.

ولما كان المحيط ثلاثي الأبعاد، فإن حركة الماء لا تحدث فيه في الاتجاه الأفقي فحسب، لأنها لو كانت كذلك لفقد الماء في الأعماق الكبيرة أكسيجينه الذائب، ولماتت المخلوقات التي تعيش في هذه الأعماق بسبب حرمانها منهن فبالقرب من خط الاستواء، يؤدي التمدد بفعل الحرارة إلى ارتفاع الماء قليلا بالنسبة إلى مستوى شمال هذا الخط وجنوبه. وعندما ينساب هذا الماء المرتفع الملوحة بعيدا عن خط الاستواء ويتجه إلى منطقة

أقل ملوحة يبرد، يتعرض إلى الهبوط حاملا إلى الأعماق الغازات التي امتصها نتيجة تلامسه مع الهواء. كذلك تهبط التيارات الباردة القادمة من المناطق القطبية إلى قاع البحر عند عبورها المناطق المعتدلة. وكثيرا ما يكون الحد الفاصل بين التيارات المختلفة الحرارة واضحا للغاية. وقد وجدت إحدى سفن المراقبة التابعة لحفر السواحل الأمريكي، وكانت واقفة عند حافة أحد التيارات الباردة، أن حرارة الماء بلغت عند مقدمتها ٣٤ درجة، وعند مؤخرتها ٥٦ درجة.

ويؤدي دوران الأرض حول نفسها إلى حدوث حركة دائرية كبرى في ماء المحيطات، ويؤدي تأثير هذا الدوران إلى جعل اتجاه التيارات شمال خط الاستواء مضادا لاتجاهات جنوبه؛ ففي شمال المحيطين الأطلسي والهادي توجد مجموعة ضخمة من التيارات الدائرية التي تتحرك في اتجاه عقارب الساعة إذا نظرت إليها من أعلى. أما في محيطات نصف الكرة الجنوبي، فتكون حركة التيارات دائرية ولكن في عكس اتجاه عقارب الساعة.

والماء – كما سنرى في الفصل الخامس – أعظم ملطف للحرارة، إذ أن التيارات المحيطية تؤثر تأثيرا هائلا على المناخ في أنحاء العالم؛ فهي التي تسبب الاختلاف بين مناخ لبرادور [٢٧] ومناخ إنجلترا، مع أنهما تقعان على

([٢٧]) مستعمرة تابعة لولاية نيوفوندلاند شرقي كندا، تقع عند مصب خليج "سانت لورنس"، أغلب سكانها من الهنود الحمر والإسكيمو. ويعوق تيار لبرادور البارد، وعدم وجود وسائل للمواصلات، استيطان هذه المستعمرة، واستخراج ثرواتها المعدنية وتوليد الكهرباء من مساقطها المائية.
(المترجم)

نفس خط العرض تقريبا. ومع ذلك فإن الإنسان لم يدرك أهمية التيارات المحيطية، ولم يبدأ في جمع المعلومات عنها، إلا في القرن الماضي فقط.

وقد كان "مايثن فونتين موري" Matthew Fontaine Maury، وهو ضابط بحري أمريكي، أول من قام بدارسة منظمة ناجحة للمحيطات، وتيارات، ورياحها التي كانت في وقته تسير أغلب سفن العالم. والواقع أنه كان عالما عظيما، وكانت لديه القدرة على الكتابة بطريقة تستحوذ على الفكر وتسترعي الاهتمام. فقد استهل أحد كتبه بهذه العبارة التي كانت عندئذ كفيلة بأن تصدم القارئ، وهي: "هناك نهر يجري داخل المحيط". أما نهره هذا، فكان "تيار الخليج"، الذي يبلغ حجم ما يتدفق فيه من الماء نحو ألف ضعف ما يتدفق في نهر الميسيسيبي.

وقد استوعب "موري" وفسر المعلومات التي جمعها من سجلات ربابنة السفن، وكانت جميع الدول البحرية تترقب صدور كتبه وما يوزعه من الخرائط الملاحية، وتستقبلها بلهفة، وكان لعمله هذا فضل كبير على الملاحة والتجارة، كما أنه وفر كثيرا من الأيام المضنية والنفقات الباهظة في الرحلات الطويلة. ويقال أنه حظي من الدول المعترفة بفضله بتشريف وتكريم لم يحظ بهما عالم أمريكي آخر، وكما لقب "برائد البحار".

كما أن درجات الحرارة في أعماق المحيط تتراوح – في جميع أنحاء العالم – بين ٣٩.٢ درجة و ٢٩.٣ درجة. ويقع ما يربو على أربعة أخماس ماء المحيطات على عمق ميل أو أكثر من السطح، وتبلغ حرارته ٣٧.٤

درجة أو أقل، ومع ذلك فقد تعلمت الأحياء، حتى في هذه الأعماق الباردة الخالية من الضوء، أن تعثر على طعامها وتتكاثر في أشكال عديدة. أما المياه السطحية، فنادرا ما تتجاوز ٨٠ درجة، حتى في المناطق المدارية، أو تقل عن ٢٩ درجة في المناطق القطبية. كذلك نادرا ما يتجاوز الفرق في درجات الحرارة بين الفصول، وفي أية بقعة، عشر درجات، ودرجة واحدة بين الليل والنهار. ولذلك لم تضطر الأحياء في المحيطات أن تكيف نفسها قط مع تغيرات الحرارة السريعة العنيفة التي كان عليها أن تجابهها على اليابسة.

وقد حدثت محاولات عديدة للانتفاع عمليا بفرق الحرارة الكبيرة الذي يوجد على مقربة بضعة آلاف قدم من سطح المحيط. إذ حاول "جورج كلود" George Claude، العالم الفرنسي الذي ابتكر أضواء النيون التي تتألق في شوارع مدننا، استخدام فرق الحرارة هذا في توليد الطاقة، وهو أمر ممكن نظريا أينما استطعت تكوين دورة تبدأ عند درجة حرارة مرتفعة وتنتهي عند درجة أكثر انخفاضا. وكان في اعتقاده أن الممكن توليد طاقة زهيدة التكاليف عن طريق استخدام كميات الماء الساخنة والباردة التي لا ينضب معينها، وأنفق على المحاولة التي أجراها قرب ساحل كوبا جزءا من الثورة التي جمعها من أضواء النيون. غير أن التجربة انتهت بحادثة وقعت للآلات، ولم تستأنف بعد ذلك.

وتغطى أجزاء كبيرة من المحيطين القطبيين الشمالي والجنوبي بالجليد حتى في الصيف، ولكن هذا الجليد لا يكون سميكا جدا حتى في القطب

الشمالي. ويرجع ذلك، لحسن حظنا، إلى ما ينفرد به الماء من خاصية التمدد عند التجمد، تلك الخاصية التي تبقي الجليد فوق السطح. ونظرا إلى أن الجليد موصل رديء للحرارة، بل أن الثلج الذي يتساقط فوقه أردأ توصيلا، فإن فقد الحرارة من الماء الموجود تحت الجليد يكون بطيئا جدا. ويتراوح نمو الجليد في الحوض القطبي الشمالي بين ستة أقدام وتسعة في السنة، وينصهر جزء منه في الصيف.

وتنشأ جبال الجليد من الثلاجات، وجبال الجليد كتل ضخمة من الماء الصلب تتكون على اليابسة، ثم تهبط إلى البحر، حيث تقوم برحلات قد تستغرق عدة سنوات. وعلى الرغم من أن مساحات الثلاجات قد انكمشت إلى مجرد بقايا ضئيلة مما كانت عليه من قبل، فإنها لا تزال قادرة على انتاج محصول ضخم من جبال الجليد التي يتكون أغلبها في جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية. فمن جرينلاند، يبدأ نحو ٧٥٠٠ جبلا جليديا رحلته كل عام. يصل منها إلى شواطئ "جراند بانكس" [٢٨]. عدد يبلغ ٤٢٨ في المتوسط. أما العدد الذي يبدأ من القارة القطبية الجنوبية (انتاركتيكا Antarcttica) فلا أحد يعرفه. ويبلغ عرض ثلاجة "همبولت" Humboldt بجرينلاند خمسا وأربعين ميلا، بينما يبلغ عرض ثلاجة في

([٢٨]) Grand Banks، هضبة مائية غائصة تقع في الطرف الجنوبي الشرقي من مقاطعة نيوفوندلاند بكندا. يقع أغلبها في تيار لبرادور، وحافتها الشرقية في تيار الخليج، ولذلك يخيم عليها الضباب دائما بسبب التقاء الهواء الساخن والبارد. تعد من أهم مناطق صيد الحوت في العالم، وإن كانت جبال الجليد تعترض عمليات الصيد وتجعلها خطرة. (المترجم)

سبيتسبيرجن [٢٩]. Spitsbergen ستين ميلا ومساحتها ٦٢.٠٠٠ ميلا مربعا. وهذه الكتل الضخمة تزحف إلى البحر، وتمتد بداخله، وتستمر في اندفاعها حتى تصبح القوة الرافعة للماء كافية لكسر قطعة كبيرة منها، وهكذا يتم إنزال جبل جليدي آخر إلى البحر لتحمله موجات المد والتيارات حيثما شاءت، إلى أن ينصهر ويعيد مادته إلى المحيط الذي جاء منه.

إن أضخم سفينة أنزلت إلى البحر لتتضاءل إلى جانب حجم أية كتلة متوسطة من هذه الكتل الجليدية التي تعد – كما يدل اسمها باللغة الإنجليزية iceberg – جبالا من الجليد بحق. وقد شوهدت جبال كهذه غائصة في خمسمائة قدم من الماء. كذلك قرر "سكوت" [٣٠] Scott أنه شاهد في القارة القطبية الجنوبية كتلا وصل ارتفاعها إلى ٢٤٠ قدما سطح الماء، وهذا يعني أنها تغوص تحته إلى عمق ١٦٨٠ قدما، كما شاهد كتلة جليدية يتراوح مربعها بين ستة أميال وسبعة.

ويقال أن متوسط عمر جبال الجليد المتكونة في المنطقة القطبية الشمالية يبلغ سنتين، غير أن بعض الجبال الضخمة التي تنتجها المنطقة القطبية الجنوبية قد تبقى عشر سنوات. ومن المعروف أنها تتوغل مع التيار

([٢٩]) أرخبيل (مجموعة جزر) في المحيط القطبي الشمالي، يقع على بعد ٤٠٠ ميلا من شواطيء النرويج الشمالية. (المترجم)

([٣٠]) روبرت فالكون سكوت (١٨٦٨ – ١٩١٢) ضابط في البحرية البريطانية، كان أحد مستكشفي القطب الجنوبي. مات هو ورفاقه في رحلة العودة بعد أن وصل إلى القطب الجنوبي في ١٨ يناير عام ١٩١٢. (المترجم)

في المنطقة المعتدلة إلى مسافات بعيدة تصل إلى منصب "ريو دا لتلاتا" Rio de la plata.[٣١] ويزن جبل الجليد الذي تبلغ أبعاده ٥٠٠ × ١٠٠٠×١٠٠٠ قدما نحو ١٤.٠٠٠.٠٠٠ طنا. ويتطلب صهر هذا الجبل جميع الحرارة المتولدة من ٢.٨٠٠٠.٠٠٠ طنا من أجود أنواع الفحم.

وجبال الجليد الكبيرة ليست هي الأخطر على السفن لأنه يمكن رؤيتها بسهولة فقد اصطدمت الباخرة "تيتانك" Titanic، التي كان يعتقد أنها لا تغرق، في رحلتها الأولى بجبل جليدي صغير يكاد يكون مغمورا تحت الماء، فبقر بطنها، وغرقت مسببة خسارة في الأرواح تقدر بألف وخمسمائة شخص. وتقوم "دورية الجليد الدولية" الآن بمراقبة الأجزاء الخطرة من خطوط عبور السفن للمحيط الأطلسي، وتحذر السفن لاسلكيا كي تغير اتجاهها عندما يحاصرها الجليد.

ولم يحدث قط أن كانت الحدود بين المحليطات والأراضي التي تحيطها ثابتة في أى وقت من الأوقات؛ فالمحيطات الدائبة الحركة لا تكف، بفضل عواصفها وحركات المد التي تحدث فيها، عن إزالة بعض الشواطئ وبناء غيرها. وفي خلال العصور الجليدية، عندما كانت المياة تسحب من البحار وتتراكم على اليابسة، هبط سطح الماء في المحيط مسافة قد تصل إلى ٣٠٠

---

(٣١) مصب يقع في الجزء الجنوبي الشرقي من أمريكا الجنوبية، ويتكون عند التقاء نهرا "البارانا" و"أورجواي" ويصب في المحيط الأطلنطي. أشهر موانئه "بيونيس أيريس" و"مونتفيديو".
(المترجم)

قدم، وحل الجفاف بمساحات كبيرة من الأرض التي لم ترجع إلى حالتها الأصلية إلا عندما انتهت صور الجليد القصيرة، التي استمرت مائة ألف عام أو مائتين، بذوبان الجليد وارتفاع الماء في المحيط.

وما من أحد يستطيع الكتابة عن المحيط دون الإشارة إلى أمواجه، تلك الأمواج التي تنطبق قوتها في ذهن كل من سافر على ظهر سفينة، خاصة لو كان معرضا للإصابة بدوار البحر، وكل من استوطن الساحل، أو زار الشاطيء. وتحدث الأمواج بفعل الرياح، وكثيرا ما تحدث نتيجة لارتفاع قاع المحيط أو انخفاضه، وهي تتفاوت من مجرد تموجات خفيفة إلى تلك الأمواج الهائلة المكتسحة التي يبلغ طولها ميلا والتي تمر عبر "كيب هورن"[٣٢] Copa Horn. في المحيط المتصل الذي يحيط القارة القطبية الجنوبية توجد أكبر أمواج يمكن أن يحدثها المحيط، باستثناء تلك التي قد توجد في الأعاصير المدارية. وتدفع الرياح والعواصف الغربية القوية التي تهب على هذه المنطقة الموحشة التيار الوحيد الذي يدور حول العالم، مكتسحا في طريقه – الذي يسير في دائرة لا تنتهي قط – كل شيء ابتداء من الأحياء المجهرية الطافية[٣٣] حتى الحيتان الضخمة.

---

(٣٢) أي رأس القرن وهي لسان من الأرض يمتد في المحيط الأطلسي جنوبي سيلي وتعد أقصى جنوبية في أمريكا اللاتينية. (المترجم)

(٣٣) أي البلانكتون Plankton، وهي الأحياء المائية (نباتات أو حيوانات التي لا تسبح بحرية، وإنما تسير تبعا لاتجاه التيارات. وهذه الأحياء توجد غالبا بالقرب من سطح الماء، حيث تستطيع النباتات منها (كالدياتوميات) الحصول على إضاءة مناسبة. وهي ذات أهمية بيئية واقتصادية كبيرة بوصفها مصدرا لغذاء الاسماك والحيتان. (المترجم)

ونادرا ما يتجاوز ارتفاع الأمواج خمسا وعشرين قدما، غير أن العواصف العنيفة قد ترفعها إلى ستين قدما، بل أن هناك روايات غير محققة عن ارتفاعات أعلى حتى من هذه. وعلى الرغم من أن الأمواج تتحرك، فإن الماء الذي يوجد بداخلها لا يتجه إلى الأمام، إذ أن حركته دائرية أو إهليجية (بيضاوية). ولا يمكن إدراك القوة الضاربة الهائلة للموجة إلا عندما تصدم شيئا لا يستطيع الطفو معها.

ويمكن سماع هدير الأمواج التي ترتطم بشاطئ "تييرا دلفويجو [٣٤] Tierra del Fuego على بعد عشرين ميلا" وقد اندفع الرذاذ المتناثر من موجدة عاصفية إلى قمة فنار عل ارتفعا نحو مائتي قدم فوق مستوى سطح البحر. ومن الممكن قياس قوة الأمواج التي تلطم الشاطيء ، وقد تبين أنها تصل إلى ثلاثة أطنان على القدم المربع، فلا عجب إذن أن تمزق الأمواج كتلا ضخمة من الجرانيت والخرسانة من أساساتها، وتقذفها إلى مسافات بعيدة.

والواقع أن المحيطات، بل والخلجان والبحيرات الكبيرة، تعمل دائما على تغيير معالم سواحلها، فهي تقطع الهضاب الصخرية من أسفل حتى تنهار قطع ضخمة منها في الماء، حيث تحمل تدريجيا بعيدا عن الشاطيء لبناء مصطبة terrace تحت الماء قرب الشاطيء الأصلي.

---

(٣٤) أرخبيل يقع على مقربة من الساحل الجنوبي لأمريكا الجنوبية، ويتكون من جزيرة كبيرة وعدة جزر صغيرة يفصلها عن الأرض الرئيسية مضيق "ماجيللان" ينتمي الجزء الشرقي منه إلى الأرجنتين، والغربي إلى شيلي. (المترجم)

أما على الشواطيء الرملية، فإن الأمواج والتيارات تشق جانبا، وتبني جانبا آخر. وقد حدث أن قررت الحكومة الأمريكية شق نفق على ساحل "ماريلاند" القصير المطل على المحيط، وذلك عبر الشريط الرملي البالغ عرضه ربع ميل والذي يقع بين المحيط وخلج "سينبكسينت" Sinepuxent عند مدينة "أوشن سيتي" Ocean City ، وبينما هي تفكر في المشروع، إذ بعاصفة ضخمة تشق شقا متقنا في المكان المقرر. (على أن العواصف لا تكون مواتية على هذا النحو عادة، فهذه العاصفة نفسها أحدثت كثيرا من الدمار في أماكن أخرى). ثم بنيت أرصفة لوقاية الطرف لامطل على المحيط من النفق الذي يستخدم حاليا.

وكثيرا ما يقال أن الماء غير قابل للانضغاط، وهو قول يكاد يكون صحيحا، ولكنه ليس صحيحا كل الصحة، فالماء يتعرض لشيء من الانضغاط في الأعماق الكبيرة من المحيط، ولو حدث فجأة أن فقد الماء قابليته لانضغط تماما، لارتفع مستوى البحر مائة قدم.

ويتفاوت لون المساحات المائية، ويرجع ذلك إلى وجود ضوء الشمس المباشر أو غيابه وإلى المواد غير العضوية الموجودة في المياه الساحلية، وإلى بعض أشكال الحياة البحرية، وهو أهم الأسباب جميعا. فقد شوهدت في المحيط الأطلسي أشرطة بنية، بل وفي لون الدم، سببها حشود هائلة من "الكوبود"[٣٥] Copepods، وهي الطعام الرئيسي لبعض

([٣٥]) حيوانات بحرية دقيقة، تنتمي إلى القشريات. توجد ضمن الأحياء المائية المناسبة مع التيار (البلانكتون).

الحيتان ويمكن للطحالب البنية أن تغير زرقة البحار المدارية إلى حمرة، أما الدياتومات فتحدث بقعا خضراء زيتونية، كذلك عرفت أشكال أخرى تكسب البحر لون اللبن. وترجع زرقة المحيطات والبحيرات الداكنة إلى نفس السبب الذي يجعل سماءنا زرقاء، ألا وهو أن تشتت الضوء بفعل جزيئات الماء يؤدي إلى انعكاس غالبية من الضوء الأزرق وكلما قلت المواد الغريبة التي يحويها الماء، ازدادت زرقته في ضوء الشمس الساطع.

وحتى وقت قريب، لم تكن معرفة الإنسان بالمحيطات والبحار تتجاوز السطح كثيرا، بيد أن التحسينات التي أدخلت على أساليب قياس العمق كشفت عن كثير من المعالم العجيبة تحت الماء: سلاسل من الجبال والهضاب ترتفع من قاع المحيط، وأغوار هائلة محفورة في الأرصفة والمنحدرات القارية، وأعماق يمكن غمر أعلى الجبال فيها بحيث يرتفع الماء فوق قممها ميلا. وفوق كل ذلك فقد عرف الكثير عن الحياة في البحر، وإن كان الجزء الأكبر منها لم يعرف بعد. وسوف نرد فصلا، آمل أن يكون طريفا، لذكر بعض المعلومات عن الحياة في ذلك العالم السائل الفسيح، الذي يعتقد أنه يضم تسعة أعشار الكائنات الحية جميعا.

وقد دأب الإنسان على تغيير وجه اليابسة ومعالمها طوال ألوف عديدة من السنين، فأصبح بذلك قوة أو عاملا من العوامل الجيولوجية. وكثيرا ما قام في عمله هذا بسلب ما وجده من الأشياء النافعة، واغتصابها بلا مبالاة. فقد جرد الأرض من خصوبتها، اذ سبب تآكل التربة الخصبة واستهلاكها، فأتلف بذلك مصدره الخاص للرزق، والدليل على ذلك بلاد

ما بين النهرين (دجلة والفرات) وأجزاء من إفريقيا الشمالية. بيد أنه لحسن الحظ لم يستطع، بكل ما في جعبته من المشروعات والأساليب المبتكرة، أن يصيب المحيطات بأذى. وها هي ذي أفكار أوحت بها هذه الصفة الواحدة من صفات البحر لثلاثة رجال مختلفين كل الاختلاف:

دمغ الإنسان الأرض بالخراب

ووقف جبروته عند الشاطيء **بيرون** (*)

"لم يعترف البحر قط، كما فعلت اليابسة، بسيادة الإنسان الدائمة: إذ لم تنطبع عليه آثار من أعماله، ولم يحمل أثرا تذكاريا لأقدامه أو جهده".

جوزيف كونراد (*)

"وأخيرا نصل إلى ذلك الذي تعده الأذهان البشرية كلها أفضل رمز للقوة التي لا تكل ولا تقهر، أعني وحدة البحر المتوحشة المتنوعة العجيبة الجموحة، فبأي شيء نقارن هذا العنصر العاتي، الشمال في جلاله أو جمال، وكيف نتابع ذلك التغير الأزلي لمشاعره؟". **رسكين** (٣٦)

وقد طرأت على المعالم الطبيعية لأمريكا الشمالية تغيرات عميقة منذ أن وطأها "كولمبس"، فقد تحولت ملايين الأفدنة من غابات ومراع إلى

(*) الأول شاعر إنجليزي رومانتيكي (١٧٨٨ – ١٨٢٤)، والثاني روائي إنجليزي بولندي المولد (١٨٥٧ –١٩٢٤)، والثالث مؤلف وناقد إنجليزي (١٨١٩ – ١٩٠٠).
(المترجم)

أراض لزراعة المحاصيل. كما زادت عمليات التعرية والتأكل، وهي أقوى العوامل الجيولوجية، زيادة كبيرة. كذلك روت ملايين أخرى من أفدنة الأراضي شبه الصحراوية، واكتست بالنباتات، أما المحيط الذي أبحر على متنه "كولمبس" لم يتغير قط.

لقد عزا الإنسان إلى المحيطات صفات كثيرة، منها الغموض الذي كان يكتنفها في أيامها الأولى – فالمجهول دائما مكمن الغموض – ومنها الرحابة والعظمة، غير أن أروع هذه الصفات وأبقاها، هو التناقض الأزلي للماء، فالمحيطات تتغير، ولكنها تظل دواما على هي عليه إنها رمز التغير في ارتفاعها مع المد، وانسيابها مع التيارات، وتجمعها واندفاعها مع الإعصار، وفي وداعتها وهدوئها عندما تسكن صفحتها، وفي تبخرها الدائم وعودتها دائما إلى الامتلاء. ومع ذلك فهي، على الرغم من تقلبها وحركتها، أكثر معالم الأرض ثباتا في مادتها وصورتها. فهكذا كانت طوال بليون من السنين أو أكثر، وهكذا ستكون عندما تبلى جميع جبالنا الشامخة وتغدو تلالا.

من ذا الذي لا يعجب بالبحر؟ برؤية الماء الملح على مدى البصر، باندفاع الموجة الطويلة تتعقبها الرياح، وبضجيجها وصخبها وصدامها؟ بذلك التموج الرقيق، الرشيق، قبل العاصفة، الشاسع المتزايد، وذلك الهدوء الناصع في قلب خط الاستواء، أو بالإعصار ذي العين المجنونة عندما يهب.. هذا البحر الذي لا يكون واحدا في أي مظهر من مظاهرة، والذي هو واحد من وراء كل مظهر. **كبلنج، "البحر والتلال"**

الفصل الخامس

الملطف والموزع الأكبر

لولا خواص الماء العجيبة الفريدة، لتعرضت الأرض لدرجة من التطرف الحراري يرجح معها أن أيا من الأشكال الراقية للحياة لم يكن لينمو ويدهر فيها، بل ربما استحال أن توجد فيها حياة أصلا. ولكي نفهم سبب ذلك، وحتى تتكون لدينا فكرة عن كيفية اعداد الماء للأرض وجعله اياها ملائمة لاحتضان الحياة، لا بد لنا أن نبدأ بالحديث عن القوة التي تجعل الأشياء تحدث على الأرض. وهذا يعني أنه لابد لنا أن نبدأ بالمشمس، إذ أن الشمس هي مصدر كل ما نمتلكه من الطاقة تقريبا، ولا يخفى أن شيئا لا يحدث بغير بذل أو تبادل للطاقة.

والشمس هي وحدة توليد القوى التي تمد الأرض بالطاقة، وعلى الرغم من أنها تبعد عنها مسافة ٩٣.٠٠٠.٠٠٠ ميلا، وعلى الرغم من أننا لا نعرف شيئا يوجد في الفضاء بينهما منذ أن نبذنا فكرة الأثير [٣٧] المنتشر في كل مكان، فإن الطاقة الإشعاعية التي تولدها الشمس تمزق في الفضاء – بطريقة لا يدعي أي عالم معرفتها – لتضيء الأرض وتدفئها.

([٣٧]) الأثير وجود افتراضي لا مادي، كان يعتقد أنه يتخلل كل جزء من أجزاء الفضاء، سواء أكان "خاليا" أو به مادة. ويتميز بخاصية توصيل الموجات الكهرومغناطيسية (الضوء، والإشعاع الحراري، والأشعة السينية، وغيرها)، كما أن له دورا في عملية الجاذبية على الأرجح، ولكنه لا يشترك مع المادة في أية خاصية من خواصها. (المترجم)

أما كيف استطاعت الشمس توليد هذه الكميات الهائلة من الطاقة دون أن تطفيء نفسها، فقد كانت هذه واحدة من أروع المشكلات العلمية وأكثرها مدعاة للحيرة طوال مئات من السنين. أما الآن، فنحن نعرف أن الشمس مولد ذري هائل للطاقة. إذ تحدث في مركزها الشديد السخونة، الذي يحتمل أن تتجاوز حرارته ٢٠.٠٠٠.٠٠٠ درجة، سلسلة من التفاعلات المتكيفة بذاتها، تعرف بدوره "بيثة"[٣٨] Bethe Cycle يترتب عنها في النهاية تحويل ٢٥٠.٠٠٠.٠٠٠ طنا من المادة في الدقيقة إلى طاقة، أي أن الشمس أخف الآن بمقدار ٢٥٠.٠٠٠.٠٠٠ طنا عما كانت عليه منذ دقيقة. أما الطاقة المعادلة لهذه المادة المفقودة فتشعها الشمس في الفضاء في كل اتجاه.

ويمكننا أن نكون فكرة عن مدى إنتاج الطاقة الذي يجعل الحياة أمرا ممكنا بالنسبة إلينا، إذ عرفنا أن الطاقة المستمدة من تحويل رطل واحد من أية مادة تحويلا تاما تساوي الطاقة المنطلقة من اختراق ١.٣٦٥.٠٠٠ طن من الفحم الجيد. كذلك فإن معرفة أن الشمس يمكن أن تفقد ٢٥٠.٠٠٠.٠٠٠ طنا كل دقيقة دون أن تفقد سوى جزء ضئيل من ١% من وزنها في بليون عام، لما يساعدنا على إدراك شيء عن حجمها وكتلتها. والواقع أنه لا بد للشمس أن تفقد الوزن بهذا المعدل ٦٠ دقيقة

---

(٣٨) نسبة إلى الفيزيائي الأمريكي هانز البرخت بيته (١٩٠٦–)، الذي ابتكر نظريات عن خواص الذرة، وأصل الطاقة الشمسية والنجمية. أشرف على الناحية الفيزيائية النظرية من مشروع إنتاج أول قنبلة ذرية.

في الساعة، و ٢٤ ساعة في اليوم، و٣٦٥ يوما في السنة لمدة ١٦٧.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠ عام، وذلك حتى تفقد ١% من وزنها الحالي.

ويقدر انتاج الطاقة الشمسية، وبالأرقام الصحيحة، بقوة ٥٠٨ × ١٠ [٢١] حصان، أي ٥٠٨ مسبوقا بواحد وعشرين صفرا. وتعترض الأرض نسبة متناهية الصغر من هذه الطاقة – أقل من جزء واحد في كل بليون جزء – هي التي تنقذنا من برد الفضاء الكوني المميت، وتهبنا الضوء والطاقة والحياة. كذلك تتلقي الكواكب الأخرى المنتمية للمجموعة الشمسية [٣٩]، وأقمارها، نصيبها من الطاقة – التي يحتمل أنها تهيء للحياة على المريخ أو الزهرة أيضا. أما البقية الهائلة من طاقة الشمس الإشعاعية فإنها تندفع في رحاب الفضاء اللانهائي بسرعة ١٨٦.٠٠٠ ميلا في الثانية، ولا أحد يعرف إلى أين تندفع ولأي غرض. وربما دخلت بضع إشعاعات ضوئية خافتة، بعد مسيرة عشرين عام كاملة، المجال البصري "الفلكي" يرقب الكون بمنظاره من أحد توابع نجم الشعري [٤٠]، وسوف يلاحظ هذا "الفلكي" أن هذه الإشعاعات قادمة من نجم أصغر[٤١] متوسط الحجم ليس فيه ما يثير الاهتمام. بل ربما وصل به الأمر

([٣٩]) كواكب المجموعة الشمسية (حسب بعدها عن الشمس مقدرا بملايين الأميال): عطارد (٣٦)، الزهرة (٦٧)، الأرض (٩٣)، المريخ (١٤٢)، المشترى (٤٨٤)، زحل (٨٨٧)، يورانوس (١٧٨٣)، نبتون (٢٧٩٣)، بلوتو (٣٦٧٠). (المترجم)

([٤٠]) الشعرى، أحد نجوم كوكبة الكلب الأكبر، وهو ألمع نجوم السماء.

([٤١]) تقسم النجوم إلى ألوان تبعا لدرجة حرارتها، وهذه الالوان هي: الأبيض المائل إلى الزرقة (٥٠.٠٠٠ درجة م)، والأبيض، والأبيض المائل إلى الأصفرار، والأحمر (٢٠.٠٠٠ درجة م).
(المترجم)

إلى حد التفكير فيما إذا كان هذا النجم له توابعه هو الآخر، وفيما إذا كان أي من هذه التوابع، في حالة وجودة، يتضمن شكلا من أشكال الحياة.

وينعكس أقل قليلا من نصف الطاقة التي تسقط على الأرض، ويعود ثانية إلى الفضاء دون إحداث أي تأثير. أما الباقي، وتبلغ قوته حوالي ١٢ مليون بليون حصانا، يحدث – إلا في حالات استثنائية قليلة – كل حركة، وفعل، وحادثة تقع على الأرض، أو وقعت عليها، منذ أن أصبحت باردة بدرجة تكفي لإيواء الحياة [٤٢].

وتكاد كمية الطاقة الكلية التي تتلقاها الأرض جميعها كل أربع وعشرين ساعة تكون متساوية. ويرجع ذلك إلى أن الشمس نجم على درجة كبيرة من الثبات، إذ لا تتجاوز تذبذباتها الإشعاعية نسبة قدرها ٢% (بالزيادة أو النقصان) من معدلها العادي. ومن الواضح أن كميات الضوء والحرارة التي تتلقاها الأجزاء المختلفة من الأرض تختلف اختلافا كبيرا، سواء من ناحية الزمان أو المكان. ففي كل بقعة على الأرض توجد اختلافات الليل والنهار، كما توجد تطرقات الشتاء والصيف (إلا في المناطق المدارية). وهناك أيضا تلك الاختلافات التي ترجع إلى خطوط العرض والتي تنتج عنها الحرارة المتوهجة بالقرب من خط الاستواء،

([٤٢]) هذه الاستثناء هي تأثيرات الحرارة الداخلية، والطاقة الناتجة عن العناصر المشعة، وضوء النجوم، والشهب، وحركات المد. أما الطعام الذي نأكله، والوقود الذي نشعله، وقوة الرياح والمياه، فكلها مستمدة من الشمس. (المترجم)

والأراضي المتجمدة القاحلة التي تحيط القطبين. وربما كانت أعظم فائدة يضفيها الماء على الحياة هي تقليل التطرفات الحرارية التي كان يمكن أن توجد لولا خواصة المميزة. فالماء أعظم ملطف، وسواء أكان الأمر متعلقا بتطرفات في الحرارة أو تطرفات في خطوط العرض، فإنه يعمل دائما على خفض المرتفع ورفع المنخفض.

ويعد بخار الماء الموجود في الهواء، والذي يوجد شيء منه حتى فوق الصحارى، بمثابة غطاء يلف الأرض ويحميها؛ فهو يقوم، مع الأوزون[٤٣]، باعتراض جزء كبير من إشعاعات الشمس القصيرة الموجات. ولو أن جميع الإشعاعات التي تعكسها السحب ويمتصها بخار الماء وصلت إلى الأرض بنفس طول موجتها الأصلي، لكان الأرجح ألا توجد سوى حياة ضئيلة، أو لا توجد حياة على الإطلاق. وتعكس السحب الحرارة، كما أن كل السحب، والضباب، أو ما يحويه الهواء الشفاف من بخار غير منظور، تختزن الحرارة التي كان يمكن أن تلفح سطح الأرض وتلهبه، ثم تشع هذه الحرارة عندما يحتاج إليها العالم. ففي الجانب الأرضي الذي يكتنفه الليل، يحتفظ الغطاء البخاري بالإشعاع الحراري المنعكس من الأرض. ولولا ذلك

---

(٤٣) الأوزون (أ٢)، غاز يتركب الجزئ فيه من ثلاث ذرات من الأكسجين. وهو غاز غير ثابت يميل لونه إلى الزرقة وله رائحة نفاذة منعشة، وهو أنشط من الأكسجين وأثقل منه مرة ونصف. يستخدم في عمليات تكييف الهواء، وقصر الألوان، وتنقية الماء والهواء. وهناك طبقة في الغلاف الجوي، هي الأوزونوسفير، تحتوي على نسبة عالية من الأوزون الذي يقوم بامتصاص الأشعة فوق البنفسجية ثم يشعها على هيئة موجات حرارية. (المترجم)

لانخفضت درجة حرارة الليل إلى الصفر في جزء كبير من العالم حتى في منتصف الصيف.

ولما كانت حياتنا تتوقف على بخار الماء الموجود في الهواء بدرجة لا تقل عن توقفها على الماء السائل الموجود في الأرض، فجدير بنا أن نبحث في الطريقة التي يسير عليها هذا النظام. (ويلاحظ أن نفس المبدأ يستخدم في بيوت النبات الزجاجية) فالطاقة القادمة من الشمس تشع من سطحها الذي تتجاوز حرارته ١٠.٠٠٠ درجة، ثم تحمل بواسطة خليط من الموجات ذات الأطوال القصيرة نسبيا. وكل من الزجاج وبخار الماء شفاف نسبيا لهذه الأشعة؛ فبخار الماء لا يمتص أكثر من ١٥% من الحرارة القادمة. ويمتص سطح الأرض ضوء الشمس القصير الموجات، ولكنه يشع أيضا الحرارة ثانية إلى الفضاء.

ويرسل الإشعاع المنعكس من سطح الأرض عند درجات الحرارة الواقعة بين الصفر والمائة إلى الخارج على متن موجات كويلة لا تنفذ من الزجاج أو بخار الماء إلى حد كبير، ولذلك يكون زجاج بيوت النبات أو النوافذ، وكذلك بخار الماء الموجود في الهواء، بمثابة "مصايد" للحرارة؛ فهي تسمح بدخول الحرارة التي تحملها الموجات القصيرة، ولكنها تمتص أغلب موجات الحرارة الطويلة التي تحاول الخروج. وفي الظروف العادية، لا يسمح بخار الماء الموجود في الهواء بالنفاذ خلاله إلا لعشرين في المائة فقط من الإشعاع المنعكس من الأرض، أما الباقي فيمتص بواسطة غطاء البخار غير المنظور الذي يستر أرضنا.

بل إن السحب والضباب أكثر فاعلية في إيقاف الإشعاع المنعكس، إذ أنها تمتصه تماما في بعض الأحيان. وتتضح أهمية السحب في هذا الصدد إذا عرفنا أنها تغطي الأرض بنسبة ٥٠% . على أن بعض الحرارة، التي تحملها التيارات الناقلة للحرارة، تصل إلى قمة السحب حيث تتعرض للإشعاع من أسطحها العليا، ولكن الحرارة المفقودة بهذه الطريقة لا تكون كبيرة، لأن هذه الأسطح تكون باردة بدرجة ملموسة.

وليس للقمر غلاف جوي ولا يوجد به ماء، ويمكننا الآن قياس درجة الحرارة على سطح القمر لنرى ماذا كان يمكن أن يحدث لنا لو لم يكن لدينا غلاف جوي يحتوي على بخار الماء. فبينما نجد أن جانب القمر الذي يستقبل ضوء الشمس يصبح ساخنا إلى درجة لا يمكن معها ظهور الحياة (لأنها تتجاوز ٢١٢)، فقد لوحظ أن حرارة السطح تنخفض ٢١٢ درجة في ساعة واحدة عندما يحتجب ضوء الشمس عن القمر أثناء الخسوف. ولو لم يكن لدينا سحب أو بخار ماء لانخفض متوسط درجة الحرارة في جميع أجزاء الأرض إلى نحو درجة الصفر، بدلا من درجة ٦٠ التي نتمتع بها الآن، ولأصبح النهار ساخنا بدرجة لا تحتمل، والليل باردا بدرجة لا تطاق.

فما هو إذن مصير كميات الحرارة الهائلة التي تمتصها السحب وبخار الماء؟ الرد على ذلك هو أن الماء ليس الوسط الكبير لامتصاص الحرارة فحسب، بل هو أيضا الوسط المهم لنقلها وتوزيعها. فأغلب الحرارة تمتص في المناطق المدارية ونصف العالم الذي يسوده الصيف. وفي هذه المناطق

يسخن الهواء، ويتمدد، ويصبح أخف وزنا، ثم يرتفع، فيندفع هواء أبرد ليحل محله، وهكذا تنشأ حركات هوائية ضخمة ورياح قوية نتيجة لهذه الاختلافات الحرارية. وتنساب بعض التيارات بثبات تام في نفس الاتجاه. وتعرف بالرياح التجارية. وعلى العموم، إن الهواء الساخن يرتفع وينساب في اتجاه المناطق الأكثر برودة، بينما يندفع الهواء من الأماكن الباردة ليهب على السطح ويحل محل الهواء الساخن.

وهكذا تتجه هذه الحركات الهوائية في النهاية إلى تسوية درجات الحرارة، بمعنى أن المناطق الشديدة السخونة تبرد، بينما تسخن المناطق الشديدة البرودة، ولنضرب على ذلك مثلا بـ "جرينلاند"؛ فهي تستقبل الحرارة التي تسقط على الأرض في المكسيك وأمريكا الوسطى.

ولما كان الماء يغطي ثلاثة أرباع سطح الأرض تقريبا، فإن أغلب إشعاع الشمس يسقط فوق المحيطات والبحار، التي هي أعظم مستودعات الطاقة ومراكز توزيعها على هيئة حرارة، وهذا الاختزان والتوزيع الهائل للطاقة لم يكن ليتم إلا لأن الماء يفوق أية مادة أخرى توجد في الأرض بكميات ملموسة من حيث مقدار الحرارة التي يستطيع كل رطل منه أن يمتصها ويحتفظ بها، مع حدوث أقل ارتفاع ممكن للحرارة فيه، وكذلك لأن تبخير الماء يتطلب كمية من الحرارة أكبر مما يتطلبها تبخير أية مادة أخرى.

وعندما يسقط ضوء الشمس فوق الماء، ينعكس جزء منه، بينما ينفذ الباقي، وتمتص طاقته. وتتوقف المسافة التي يستطيع الضوء النفاذ

إليها تحت السطح على كمية المواد المعلقة والذائبة في الماء وطبيعتها. وقد تبين – عن طريق تعرض ألواح فوتوغرافية للضوء تحت الماء فترات طويلة – أن قدرا ضئيلا جدا من الضوء هو الذي يصل إلى مسافة تتجاوز ألفا ومائتي قدما تحت السطح في أغلب مياه المحيطات، وأن ٦٠% من هذا الضوء يمتص في الأقدام الثلاثة الأولى. وفي المياه الرائقة جدا، يبلغ الحد المطلق لقدرة ضوء الشمس على النفاذ نحو ثلاثة آلاف قدم. أما تحت هذا العمق، فيسود الظلام الدامس: ليل أبدي بلا قمر أو نجوم، لا تبدده إلا أطياف الوميض الفسفوري الذي تحدثه مخلوقات الأعماق التي تحمل أجهزتها الضوئية الخاصة، مثلها في ذلك مثل حشرات النار [٤٤].

وينبغي علينا الآن أن نرى ماذا يحدث للكميات الهائلة من الطاقة الحرارية التي تتدفق باستمرار في المياه الواقعة في الأجزاء الحارة من العالم. إن من الواضح أنها لا تبقى هناك، لأنها لو بقيت لكان علينا أن نتوقع أن يكون الماء بالقرب من خط الاستواء ساخنا إلى درجة الغليان. بينما يندر في الواقع أن تتجاوز حرارته ٨٠ درجة. وهذا يدل، بلا شك، على وجود نظام على نطاق عالمي لتوزيع الحرارة بالدوران. والواقع أنه ما أن اصبحت الأرض باردة بدرجة تكفي لتوفير الماء السائل، حتى قامت الطبيعة

---

(٤٤) خنافس مضيئة من آكلات اللحم، تنتشر في المناطق المدارية أكثر من المناطق المعتدلة. وتتكون أعضاء الإضاءة، الموجودة على البطن، من عدة طبقات من الخلايا الصغيرة التي تتخللها الاعصاب والأنابيب الهوائية التي تتيح أكسدة مادة بروتينية تعرف "باللوسيفيرين" Luciferin في وجود إنزيم اللوسيفيريناز Luciferinase، فينتج الضوء نتيجة هذا التفاعل. ويتفاوت لون الضوء، الذي يعتقد أن له علاقة بالجاذبية الجنسية، بين الأصفر، والمائل إلى الخضرة، أو الزرقة، أو الحمرة. وتومض الذكور، والإناث، واليرقات، بل وبيض بعض الأنواع، بهذا الضوء الفسفوري. (المترجم)

باستخدام عملية مشابهة لتلك التي نستخدمها حين نستعين بالماء في أجهزة البخار والمياه الساخنة لتوزيع الحرارة من الغلايات على كل ركن من أركان منازلنا ومبانينا.

وهناك نوعان متميزان من الدورات: أولهما شبيه بجهاز التسخين الذي يعمل بالماء الساخن. وكما رأينا في الفصل الثالث، فإنه توجد في المحيطات حركات دائرية، على كلا الجانبين الشمالي والجنوبي من خط الاستواء. فهناك دائما تيار بدفع الماء البارد تجاه خط الاستواء، وآخر في الجانب المقابل من الدائرة يدفع الماء الدافيء ناحية القطب. ولا تكتفي التيارات الباردة بتحريك كتل ضخمة من الماء فحسب، بل تنقل أيضا جبال الجليد الكبيرة . وقد استغرق الإنسان زمنا طويلا ليدرك الدور الكبير الذي تقوم به تيارات المحيط في تحديد نوع المناخ الذي ينعم به أو يشقى، ومن ثم نوع الحياة التي يتعين عليه أن يحياها.

ويمكننا الحصول على فكرة بسيطة عن قدرة تيارات المحيط على حمل الحرارة عن طريق تقدير كمية الحرارة التي تنقل بواسطة ميل مكعب من الماء الذي ينساب من منطقة دافئة المياه ويوصل حرارته إلى منطقة باردة بعيدة؛ فإذا كان الفرق في درجة الحرارة بين التيار الدافيء والمنطقة الباردة هو ٢٠ درجة، فإن كل ميل مكعب من الماء يستطيع أن يوصل ١٨٤.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠ وحدة حرارية إنجليزية، وهي كمية الحرارة التي تتولد عند حرق ما يربو على ٧.٠٠٠.٠٠٠ طنا من الفحم الجيد.

ولنتخيل الآن تيارا عرضه ١٠٠ ميل، وعمقه ربع ميل، ويسير بسرعة ميل في الساعة. هذا التيار يوصل ٢٥ ميلا مكعبا في الساعة، أو ما يعادل كمية الحرارة الموجودة في ١٧٥.٠٠٠.٠٠٠ طن من الفحم، والواقع أن الفحم الذي يستخرج من جميع مناجم العالم في سنة، لا يوفر الحرارة بهذا المعدل إلا لمدة اثني عشرة ساعة فحسب.

وتيار الخليج أفضل مثل معروف لإيضاح الدور الذي تستطيع تيارات المحيط القيام به في تعديل المناخ. فعرض هذا التيار، حيث ينساب مبتعدا عن مضايق "فلوريدا" يكون خمسين ميلا، وهو يندفع بسرعة خمسة أميال في الساعة، ويقدر ما يحمله من الماء بنحو ١٠٠ ميل مكعب في الساعة. ثم يسير في الاتجاه الشمالي الشرقي، حيث يعززه تيار "الأنتيل"[٤٥] Antilles، وأخيرا ينعطف شرقا على مقربة من شواطيء "نيوفوندلاند" [٤٦]، حيث يعرف بعد ذلك بتيار شمال الأطلنطي. وبينما تصل درجة حرارة الماء المجاو لجزر "الهيبريديز" [٤٧]. Hebrides، التي تقع في طريق التيار على خط عرض ٥٨ درجة، إلى ٥٥.٤ درجة في شهر يوليو، فإنها تنخفض قرب ساحل "لبرادور" عند نفس خط العرض وفي نفس الشهر إلى ٤٠.١ درجة فقط. فلا عجب إذن يغير هذا التيار مناخ

---

(٤٥) أي تياور جزر الهند الغربية، وهي مجموعة من الجزر تقع بين أمريكا الشمالية والجنوبية.

(٤٦) جزيرة في شرقي كندا.

(٤٧) تعرف أيضا بالجزر الغربية، وهي مجموعة من اكثر من ٥٠٠ جزيرة تقع في أقصى الجزء الغربي والشمالي الغربي من اسكتلندا.

(المترجم)

الجزر البريطانية، ويلطف ساحل النرويج، ويصل تأثيره إلى جزر "سبيتسبيرجن" القطبية، التي تبعد عن القطب الشمالي مسافة ثلاثمائة ميل فقط.

ويجلب تيار "لبرادو" المياه القطبية الشمالية الباردة وكثيرا من الجبال الجليدية إلى الجنوب، ويمر في النهاية تحت تيار الخليج. ولذلك نجد أن حرارة المياه العميقة في شواطئ "جراند بانكس" تظل عند درجة ٣٠، بينما ترتفع حرارة المياه الواقعة في تيار الخليج خارج هذه المنطقة مباشرة إلى ٦٠.٨ درجة. كذلك يجلب تيار "همبولت" الماء البارد من شمالي المحيط القطبي الجنوبي ليمر بحذاء الساحل الغربي لأمريكا الجنوبية. وتبلغ قوة تأثير هذا التيار حدا يجعل حرارة الهواء في "ليما" Lima، التي تقع على ساحل "بيرو"، على بعد ثمانمائة ميل فقط من خط الاستواء، تظل عند درجة أقل من ٩٠.

أما النوع الثاني من الدورات، فهو أسرع، وأكثر تعقيدا، وتأثيره المباشر على اليابسة أعظم، فالنوع الأول يحدث في المحيطات كلية، ولا يتضمن سوى الماء السائل، والماء الصلب إلى حد ما، بينما النوع الثاني يتضمن الماء في صورة الثلاث جميعا. وكما يمكننا القول أن دورة الدم في أجسامنا تبدأ وتنتهي في قلوبنا، فإن دورة الماء التي تحفظ الأرض حية تبدأ هي الأخرى وتنتهي في المحيط.

ولننظر الآن في الطريقة التي تعمل بها هذه الدورة، وفيما تحققه من النتائج فالطاقة الشمسية تتوالو على سطح البحار المدارية، فتسخن مياهها إلى ٨٠ درجة، ويتبخر بعضها، وتمتص ١١٠٠ وحدة حرارية إنجليزية بالنسبة إلى كل رطل من الماء يتحول من سائل إلى بخار. كذلك يسخن الهواء بفعل الشمس، خاصة في الأجزاء الدافئة من الأرض. ثم تحمل الرياح والتيارات الهوائية بخار الماء معها، من المناطق الدافئة إلى المناطق الباردة عادة.

ولننتبع الآن رطلا من الماء تبخر من المحيط ولنفترض أنه حمل، بما تكتنزه، جزيئات عن الطاقة التي تبلغ ١١٥٠ وحدة حرارية إنجليزية عندما تكون درجة حرارة الماء فوق ٣٠ درجة، إلى جرينلاند، حيث يبرد ويتساقط على هيئة ثلج. وعندما يتحول من بخار إلى جسم صلب، فإنه يطلق ١١٤٠ و.ح.ا، تستخدم في رفع حرارة الهواء فوق جرينلاند. ويتساقط رطل الثلج فوق الطبقة الجليدية التي تغطي سطح جرينلاند. ثم يدفن تحت الثلوج التي تتساقط بعد ذلك، ويتحول بالتضغط إلى جليد ثلجي. وتتحرك الكتلة الثلجية (الثلاجة) ببطء نحو البحر. وبعد عدة مئات أو آلاف من السنين، يصل جزء الثلاجة الذي يحوي رطل الجليد الذي نحن بصدده إلى الساحل. وتنفصل قطعة كبيرة منه، ثم تطفو بعيدا على هيئة جبل جليدي.

وإذا فرضنا أن جبل الجليد هذا متوسط الحجم، وأنه يعادل مكعبا طول ضلعه ٥٠٠ قدما، فإنه يزن حينئذ نحو ٣.٤٤٠.٠٠٠ طنا.

وينساب هذا الجبل جنوبا، حيث يأخذ في الانصهار.. عندما ينصهر هذا الجبل الجليدى فإنه يمتص نحو ١٦٠ و.ح.أ في كل رطل منهن، فيؤدي بذلك إلى تبريد الماء والهواء من حوله. وهكذا تحدث هذه العملية الهائلة، التي تؤدي – عن طريق الماء – إلى تصدير الحرارة من أجزاء الأرض الشديدة السخونة إلى المناطق القطبية، وفي مقابل ذلك تقوم هذه المناطق بإرسال الجبال الجليدية والتيارات الباردة لتبريد المناطق الدافئة.

وقد جاءت في تاريخ العالم الطويل أوقات كانت فيها هذه الدورة أقرب كثيرا إلى الكمال مما هي عليه اليوم، وذلك لأسباب غير معروفة تماما، إذ كانت الحرارة المعتدلة تمتد حتى المناطق القطبية، وكانت أشجال "المنوليا" [٤٨] Magnolia تنمو في جرينلاند. ومما يثبت أن هذه الظروف كانت موجودة، بل واستمرت كذلك لفترات طويلة جدا، وجود رواسب الفحم في جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية، وربما كانت هذه الظروف تمثل الظروف العادية في العالم. فعندما تنذر سلاسل الجبال وتبلى كتل اليابسة الموجودة في الكرة الأرضية، أثناء العصور الطويلة الواقعة بين فترات بناء الجبال، يبدو من الأرجح أن دورة الماء والهواء تكون أعم وأشمل، فتنصهر القمم الجليدية القطبية icecaps، وتتوغل الحيوانات المرجانية وغيرها من صور الحياة في المياة الدافئة بعيدا في اتجاه الشمال والجنوب. ثم تأتي فتات

---

(٤٨) نوع من الأشجار الفارغة تمتاز بجمال أزهارها. وهي تستوطن أمريكا الشمالية والوسطى وآسيا. (المترجم)

تندفع فيها سلاسل الجبال إلى أعلى، فيضيق نطاق حركة الهواء والماء وتنحرف، وتعاود التطرفات المناخية طهورها فترة ما.

أما الأحداث التي يتعرض لها "رطل الماء" بعد أن تصاعد في الهواء بفعل حرارة الشمس، فيمكن أن تكون واحدة من عدة احتمالات مختلفة، فهو قد يسقط فوق جبال "روكي"، ثم ينحدر منها إلى حيث يصرف في بحيرة "جريت سولت"[٤٩] Great Salt Lake، ويظل في ذلك "البحر" الموحش بضع مئات الألوف من السنين. أو يتغلغل إلى عمق كبير في الأرض ويظل هناك مليون عام. أو يدخل جسم شجرة أو حيوان حيث يمارس كل شروب المغامرات المثيرة. أو يلج نهرا وسرعان ما يجد نفسه في المحيط ثانية. أو يقوم بأشياء كثيرة أخرى، ولكن أيا ما كانت هذه الأشياء، فالأرجح أنه سينتقل الحرارة من مكان ساخن إلى مكان أبرد، وأنه – إذا سقط على اليابسة – سيحرك قليلا من التربة من مستوى مرتفع إلى مستوى أكثر انخفاضا.

كذلك يمكننا أن نكون على ثقة من أنه لا يعود إلى المحيط صفر اليدين، بل يجلب معه شيئا ما إما معلقا أو ذائبا: قليلا من كربونات الكالسيوم للحيوانات المرجانية كي يساهم بها في بناء جزيرة مرجانية، أو شيئا من السليكا للدياتومات، أو هنة من الماغنسيوم للأعشاب البحرية.

---

(٤٩) أي بحيرة الملح الكبرى، وهي بحيرة تقع في الجزء الشمالي الغربي من ولاية يوتا الأمريكية على ارتفاع ٤١٩٧ قدم فوق مستوى البحر. يؤمها عدد كبير من المصطافين، إذ تتميز بسهولة السباحة فيها بسبب ارتفاع كثافتها النوعية، وذلك لاحتوائها على نسبة عالية من الأملاح التي تستخرج منها بكميات كبيرة. (المترجم)

كل هذه المواد يتركها في المحيط عندما يصعد في الهواء مرة أخرى بفعل حرارة الشمس، حيث يبدأ جولاته على متن الهواء من جديد.

وهكذا نرى أن نظام المحيطات بأكمله هو نظام آلة ديناميكية، تحركها الشمس، وأن هذا النظام يوزع الحرارة لتكييف مناخ العالم، عن طريق تلطيف التطرفات الحرارية وتخفيف حدتها. ويصل تأثير التوزيع الحراري إلى كل جزء من أجزاء الأرض، ولكنه يكون أكبر ما يكون في البحر وبالقرب منه، أي في الجزر والمناطق الساحلية. وتوجد أكبر التفاوتات الحرارية في الأجزاء الداخلية من القارات. ففي مدينة "بسمارك"، بولاية داكوتا الشمالية، يبلغ متوسط درجات الحرارة لشهري يناير ويوليه ٨ درجات، و٧٠ درجة، بفرق ٦٢ درجة، أما في مدينة "سياتيل" Seattle، بولاية واشنطون، التي تقع عند خط العرض تقريبا ولكن بالقرب من البحر، فإنها تنعم في نفس هذين الشهرين بمتوسط حراري متقارب هو ٤١ درجة و٦٦ درجة، أي بفارق ٢٥ درجة فقط.

وترتطم أمواج جميع المساحات المائية بشواطئها باستمرار، فتقوم بتفتيت المواد التي تنقل تدريجيا بعيدا عن الشاطئ وتنتشر مكونة مصاطب ومنحدرات. وتوجد هذه المصاطب التي بنتها الأمواج في جميع أرجاء العالم، وهي لا تمتد على طول السواحل الحالية فحسب، بل تمتد أيضا في الأجزاء الداخلية من القارات، حيث تنبئنا بأنه كانت هناك بحار اختفت منذ زمن بعيد. وقد كانت بحيرة "بونفيل" Bonneville، التي تكون بحيرة "جريت سولت" الواقعة في ولاية يوتا Utah الجزء الباقي منها، كانت بحرا داخليا

كبيرا في وقت من الأوقات، أما اليوم فتقف مرتفعاتها الشاطئية التي بنتها الأمواج دليلا واضحا على حدودها السابقة. كذلك تبني الأنهار سهولها الفيضية ودالاتها بواسطة المواد التي تجرفها المياه من المرتفعات والأراضي العالية والتي تصرف في هذه الأنهار.

وقد يتراءى لأحد أن يتساءل: إذا كان الماء قد استمر في هدم المرتفعات وملء المنخفضات طوال بليوني عام، فلماذا لا تكون الأرض في نعومة كرة البلياردو؟ أما الجواب الأخير على هذا السؤال فنجده في نظرية توازن القشرة الأرضية isostasy، وهذه قصة أخرى طويلة، ولكنها تتلخص في أن الأرض تقاوم عملية التسوية، فعندما يتغير وزن سطحها، بسبب إزالة المواد من إحدى المناطق وتراكمها في منطقة أخرى، فإن السطح يعدل نفسه تبعا لذلك، فيهبط في المكان الذي زاد في الوزن، ويرتفع في مكان آخر. كذلك تقوم الحرارة الداخلية بدورها في هذه العملية عن طريق النشاط البركاني.

لقد كانت سلاسل الجبال تبلى وتندثر منذ بداية الزمان، ولكن كانت سلاسل أخرى تظهر وترتفع فجبال "الأبالاش" عجوز قصيرة القامة أثرت فيها عوامل التعرية، فأبلتها، وسوت سطحها، أما جبال "الألب" و "الروكي" و"الهملايا"، فهي جبال حديثة، منحدرة ، جرداء، ولكن الماء والرياح والصقيع تعمل فيها جميعا، والأرجح أن تكون الغلبة لهذه العوامل أخر الأمر، وسوف تتميز الحالة النهائية لسطح كوكبنا بانخفاض المرتفعات وتدرج المنحدرات، وبطء الانحدار، وبوجود سهول فسيحة، مع مناخ أكثر استواء واتزانا مما هو عليه الآن بكثير.

الفصل السادس

الماء في الهواء

المحيطات مستودعات ضخمة لتخزين ماء العالم، ولا بد لهذا الماء أن يترك هذه المستودعات لكي يقوم بعمله في بقية أجزاء العالم. ولما كان الماء في الحالة السائلة لا يستطيع تجاوز خط الساحل أبعد مما تستطيع الأمواج المتوغلة أو الرذاذ المتناثر، فإن من الضروري أن ينتقل إلى حالته البخارية قبل أن يستطيع الشروع في أسفاره الداخلية. وتهيئ الشمس الطاقة اللازمة لهذا التحول، بينما يهيئ الهواء ورياحه وسائل لنقل غير المحدودة.

وتقدر الطاقة المتوسطة الموجودة في ضوء الشمس الذي يتلقاه الميل المربع من سطح الأرض بنحو ٣.٥٠٠.٠٠٠ كيلووات [٥٠]. ويستغل جزء كبير من هذه الطاقة في تسخين مياه المحيط وتحويلها إلى بخار. وإذا فرضنا أن نصف الطاقة الكلية التي يتلقاها الميل المربع من المحيط هو الذي يؤثر في عملية التبخير، فإنه يؤدي إلى تصاعد نحو ٥٤٣٥ طن من بخار

---

(٥٠) وحدة لقياس القوة الكهربية تساوي ١٠٠٠ وات، أو ما يعادل قوة ١.٣٤ حصان. (المترجم)

الماء في الهواء في الساعة. اضرب هذه الكمية في مساحة سطح المحيط الهائلة، تحصل على نتيجة مذهلة.

وعندما تتلقي جزيئات الماء، التي تقدر بملايين الملايين في كل قطرة، كمية كافية من الطاقة القادمة من الشمس البعيدة، تقفز في الهواء وتبدأ في التراقص على هيئة جسيمات طليقة منفصلة. وتصبح الآن، وهي في حالة حرة غير منظورة، على استعداد لبدء أسفار وأحداث هائلة. ولكنها لا تظل دائما غير منظورة، إذ أنها تتخذ أشكالا عديدة وألوانا كثيرة، زاهية أو داكنة، وذلك حسب الحالة التي تشاهد فيها عندما تظهر ثانية على هيئة سحابة، أو مطر، أو برد، أو ثلج.

وبخار الماء أخف من الهواء ويتحرك معه، ولذلك يصعد بعضه إلى ارتفاعات هائلة، وهو يتحرك في الاتجاهين الرأسي والأفقي، حيث يتمدد وينتشر كلما انخفض الضغط الجوي، وهذا يؤدي إلى خفض درجة حرارته. كما أنه قد يصادف هواء بارد أيضا. وقد سبق أن ذكرنا أنه كلما ازداد الهواء دفئا، ازدادت كمية بخار الماء التي يستطيع ذلك الهواء الاحتفاظ بها. فالقدم المكعب من الهواء لا يستطيع الاحتفاظ في درجة ٣٢ إلا بنصف كمية بخار الماء التي يحتفظ بها في درجة ٥١. وعندما يبرد الهواء إلى نقطة التشبع، يكون هذا نذيرا بقرب حدوث شيء. وعندما تزداد برودته، يبدأ ما يحويه من بخار الماء يتحول إلى الحالة السائلة، ولكنه يتكثف في قطيرات دقيقة إلى درجة أنه يلزم منها نحو ثمانية ملايين لتكوين قطرة مطر متوسطة الحجم، ويحمل الهواء هذه القطيرات بسهولة.

على أنه لكي يحدث التكاثف بمجرد أن تنخفض حرارة الهواء عن درجة التشبع، فإنه لا بد من وجود شيء يحدث هذا التكاثف عليه، أي لا بد لكل قطيرة من الحصول على "ذرة" دقيقة من الغبار تتخذها نواة لتتكاثف عليها. وقد يعن لأحد، وفي ذهنه ذلك الهواء البلوري الصفاء الذي يميز سماءنا الغربية، أن يسأل هذا السؤال الوجيه: ومن أين يأتي الغبار والجواب على ذلك هو أن الغبار الدقيق موجود فى كل مكان حتى المسافات الخيالية التى تفصل بين النجوم. واذا عرفت أن النفثة الواحدة من دخان سجارتك تحوي نحو ٤.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠ من "الذرات" المنفصلة، فلتتخيل كم من هذه "الذرات" يساهم بها في الجو حريق كبير، أو عاصفة من الغبار أو بركان ثائر.

وقد حدث أضخم انفجار في الأزمنة الحديثة عندما قذف بركان "كراكاتوا" Krakatos [٥١] بما يتراوح بين ستة وعشرة أميال مكعبة من الصخور والتراب إلى الهواء في جزر الهند الشرقية. وإذا قارنا القنبلة الذرية بهذا الانفجار، نكون كمن يقارن سهما ناريا بمدفع ضخم من عيار اثنى عشرة بوصة. وقد انتشر الغبار الناتج عن هذا الانفجار وتغلغل في جميع أجزاء الغلاف الجوي، واستمرت الالوان المصاحبة لشروق الشمس وغروبها زاهية بدرجة غير عادية في جميع أرجاء العالم طوال عدة سنوات.

---

(٥١) نسبة إلى جزيرة بركانية صغيرة تقع في مضيق "سندا" Sunda بين جاوه وسومرة بإندونيسيا. وقد حدث هذا الانفجار في شهر أغسطس عام ١٨٨٣، وأدى إلى موت ما يزيد على ٣٥.٠٠٠ نسمة. (المترجم).

كما أن هناك أيضا الغبار الناتج عن ملايين الشهب التي تحترق في غلافنا الجوي كل يوم.

أما إذا لم تكن توجد، لأي سبب كان، "ذرات" كاية من الغبار كي يتكاثف عليها بخار الماء، سواء أكان هذا البخار في الهواء الطليق أو في مكثف جهاز لتوليد البخار، فإن بعض البخار قد يبرد إلى درجة أقل كثيرا من درجة تشبعه، ويقال حينئذ أنه "مفرط التشبع" Supersaturated. وإذا استمر التبريد، يتكاثف هذا البخار بأجمعه. وهذه الحالة مشابهة لتبريد الماء في ظروف خاصة تحت نقطة تجمده دون أن يتبلور.

وعندما يحدث التكاثف في الهواء، تتكون السحب، وإذا ارتكزت السحب فوق سطح الأرض، فإنها تعرف حينئذ بالضباب. وهي تتخذ جميع الأشكال والأحجام، وبوسعنا أن نراها وهي تغير شكلها ولونها وتتوارى عن الأنظار. وربما كان أجمل منظر أخاذ أبدعته الطبيعة كي يستمتع بهو كل ذي عين تبصر، هو تلك الألوان الرائعة التي تصطبغ بها السحب ساعة شروق الشمس وغروبها، عندما يتضافر الضوء، والماء، والهواء لتكوين مناظر لا يضارعها في العظمة والجمال شيء آخر، بيد أننا لا نرى أي لون عندما نكون داخل إحدى السحب، بل لا نرى حتى تلك الباطنة الفضية التي يضرب بها المثل.

وقد كتب العالم الإنجليزي "تيندول" Tyndall يصف منظرا شاهده في جبال الألب، فقال:

"ما ان هبطت الشمس، حتى ألقت قمة "فينيستيرارهورن"[٥٢] Finsteraarhorn ظلها على الجو المجاور لها، الذي اكفهر – بسبب حرمانه من الأشعة المباشرة – وتلبد في ضباب ظاهر للعيان. وتحرك البخار المتكاثف ببطء على جانبي الجبل، ثم انسكب في وادي "الرون". وهناك قابل الشمس ثانية فإعادته مرة أخرى إلى الحالة غير المنظورة".

وإذا كنت ممن يحرصون على قراءة وصف شاعري جميل لدورة السحب فعليك بقراءة قصيدة "شيللي" المعروفة باسم "السحابة" The Cloud.

وتعرف أعلى السحب باسم السحب "الوبرية" (السمحاق" Cirrus وهي تبدو على هيئة خيوط الصوف المنسولة، ويبلغ متوسط ارتفاعها ستة أميال، وتتكون من بلورات دقيقة من الجليد. ويصل ارتفاع بعضها إلى عشرة أميال، وتتحرك بسرعة تتفاوت بين مائة ميل ومائتين في الساعة.

والسحب "الوبرية" هي التي تسبب الهالات والحلقات التي ترى حول الشمس والقمر. وتحدث هذه الحالة عندما تكون هذه السحب من الارتفاع بحيث لا نراها إلا عندما يسقط الضوء على "جزيئاتها" بزاوية خاصة.

---

(٥٢) أعلى قمة في جبال الالب الموجودة في مقاطعة "بيرن" بسويسرا، ويبلغ ارتفاعها ١٤٠٣٢ قدما. (المترجم)

وتحت السحب "الوبرية"، بل بينها في الواقع، تتنوع أشكال السحب ويختلف سلوكها إلى درجة أن الأسماء المتعددة التي تطلق عليها تغدو محيرة عسيرة التطبيق على أي شخص لا يكون أخصائيا في شئون السحب والمناخ. وأكثر أنواع هذه السحب شيوعا هي السحب الركامية Cumulus، أو سحب "زكيبة الصوف"، وهي كتل سميكة يتخذ سطحها العلوي شكلا مقببا. وعندما تكون هذه السحب في مواجهة الشمس، تظهر أسطحها المواجهة للمشاهد أكثر لمعانا من حواف النتوءات البارزة منها. وعندما يسقط الضوء مائلا على هذه السحب، تحدث ظلال عميقة، أما إذا كانت في نفس الجانب الذي توجد فيه الشمس، فإنها تبدو قاتمة مع حواف زاهية. وكثيرا ما تتفتت السحب "الركامية" بواسطة الرياح القوية إلى أجزاء تتعرض لتغيرات مستمرة. وهناك أيضا السحب "الطبقية" Stratus، وهي طبقات أفقية من الضباب المرفوع، أما السحب "المثقلة" (المزمنة) nimbus، فهي السحب المطيرة. وتتكون عادة من طبقات سميكة داكنة من السحب التي لا شكل لها والتي لها حواف ممزقة يتساقط منها المطر أو الثلج عادة.

وعندما يبرد الهواء بدرجة كافية لتكوين السحب، وتكون الظروف مواتية للقطيرات المجهرية التي تتكون منها هذ السحب كي يندمج وتكون قطرات أكبر، لا يعود الهواء قادرا على حمل هذه السحب، ويبدأ تساقط الأمطار ويتوقف حجم قطرات المطر على سرعة التيارات الهوائية الصاعدة التي تتكون فيها هذه القطرات عادة. ويتراوح قطرها بين جزء من ستة عشر جزء من البوصة وخمس البوصة. ويكون المطر المتساقط من التيارات

الهوائية الضعيفة التصاعد صغير القطرات دائما. أما عند تكون التيارات قوية وتستطيع حمل القطرات فترة طويلة، فعندئذ تتكون قطرات كبيرة كتلك التي كثيرا ما تسبق الأمطار الرعدية.

وتحدث الظاهرة لمعروفة لدى العامة باسم "التفجر السحابي" عندما تحول تيارات هوائية صاعدة قوية جدا دون تساقط كمية ضخمة من قطرات المطر الكبيرة، بحيث تؤدي إلى حدوث ما يمكن تسميته "بالخزان الهوائي". وعندما تنحرف هذه التيارات أو تضعف، تنهمر المياه المتجمعة بغزارة على المنطقة السيئة الحظ الواقعة تحتها. وتحدث التفجرات السحابية الشديدة في الأراضي الجبلية عادة، وخاصة في الجزء الغربي من أمريكا. وهي التي تغطي مساحات كبيرة على الإطلاق، ولكن تحدث أحداها فوق واد صغير، فقد تسبب كثيرا من الدمار.

وهناك ناتج آخر للتيارات الهوائية الصاعدة، هو البرد، فعندما تحمل قطرات الماء إلى ارتفاعات كافية، قد تقابل هوء تحت درجة التجمد وتتحول إلى قطرات الماء إلى ارتفاعات كافية، قد تقابل هواء تحت درجة التجمد وتتحول إلى جليد، وقد تحمل إلى أعلى وإلى أسفل وتدخل مناطق التجمد عدة مرات، حيث تكتسي في كل مرة بطبقة جديدة من الجليد، وبذلك يصبح القطاع العرضي لبعض حبات البرد أشبه بالبصلة. وحيثما يظل البرد في الهواء فترة طويلة، قد تنمو حياته إلى حجم يدعو إلى الدهشة، إذ تصل أحيانا إلى حجم كرات التنس.

وعواصف البرد ذات الحبات الضخمة تكون كارثة، بصفة خاصة، على بيوت تربية النبات الزجاجية، والمناور الزجاجية، وبعض المحاصيل النامية، كالطباق. ولكنها، لحسن الحظ، لا تغطي – كتفجرات السحب – مساحات كبيرة، بحيث أن الضرر الذي تسببه يكون موضعيا دائما. ويكاد البرد يكون الشكل المائي الوحيد الذي ليس له – في بعض صوره على الأقل – فائدة للإنسان والحياة بصفة عامة، فحتى جبال الجليد الغادرة، التي قد تغرق سفننا، تساعد على تلطيف التطرفات المناخية في العالم.

وهناك كثير من الفلاحين يزرعون حقولهم ويتعهدونها بالرعاية. وما أن تنمو محاصيلهم مقتربة من النضج، حتى تعمهم الراحة في انتظار دخل سخي. ولكن في نفس الوقت الذي يوشكون فيه على حصد أو جمع محصولهم، تنهمر سيول البرد الجارف على حقولهم وكأنها ضرب السياط. ولا تستمر هذه السيول سوى عشرين دقيقة، ولكنها مدة كافية لإحداث تلف جزئي، وربما كلي، في محصول عام بأكمله. وأسوأ ما في الأمر أن الفلاح يقف عاجزا عن رد هذا التلف أو الوقاية منه. فهو يستطيع رش حقوله بالمواد الكيميائية لمقاومة الحشرات والآفات، ويستطيع تجنب أخطار الجفاف والجدب عن طريق الري، ولكنه لا يمتلك وسيلة للوقاية من البرد.

أما الثلج فيتكون في ظروف أقل تطرفا من الظروف التي يتكون فيها البرد، وهي ظروف تسمح بتكوين بلورات تمثل، كما يحدث عادة في الماء، حالة طريفة من التناقض الظاهري، إذ أن هذه البلورات متشابهة جميعا ومختلفة في نفس الوقت. والواقع أن تكوين البلورات الثلجية الرقيقة في

الهواء عملية من أعجب العمليات بحق. ذلك أن جزيئات الماء لا تتصل بعضها ببعض بأية طريقة عشوية لا نظام فيها، كما قد يتوقع المرء نتيجة لوجودها في الهواء المتحرك، ولكنها تبني أشكالا متناسقة سداسية النظام. وبعض هذه الأشكال يكون بسيطا وعلى هيئة صفائح رقيقة، وبعضها يكون متفرعا، مزخرفا، وعلى هيئة شرائط مزركشة، ولكنها دائما سداسية الأضلاع أو سداسية الفروع، وكلها جميلة ويمكن إنتاج بلايين الأنماط المختلفة من هذه الأشكال، والواقع أن أحدا لم يتسن له قط أن يضبط الطبيعة متلبسة بإنتاج اثنتين من هذه الرقائق الثلجية لهما نفس التصميم تماما.

لقد ذكرنا الكثير عن اندفاع الهواء الصاعد في صدد الكلام عن الأشكال المختلفة التي يتخذها الماء عندما يسقط من الهواء. وقد يكون من المناسب أيضا أن نبحث الأسباب الرئيسية لهذا الاندفاع الصاعد، فهو قد يحدث بفعل التيارات المتحدة الاتجاه، أو بفعل كتلة من الهواء البارد الكثيف الذي يتحرك تحت هواء دافئ ويرفعه. وسواء أجبرت الرياح الهواء على الاندفاع إلى أعلى عبر منحدر حاجز أرضي كسلسلة من التلال أو الجبال، أو انحراف الهواء الدافئ الخفيف إلى أعلى بفعل حاجز أرضي كسلسلة من التلال أو الجبال، أو انحراف الهواء الدافئ الخفيف إلى أعلى بفعل حاجز من الهواء الكثيف، فالتأثير واحد، وهو تأثير له علاقة كبيرة بالأحوال الجوية التي تسود عالمنا.

ويحوي جميع الهواء بعض بخار الماء، الذي قد ترتفع نسبته إلى ٢.٥ % أو تنخفض في الحالات المتطرفة إلى جزء من مائة جزء فقط من هذه النسبة وعندما يصعد الهواء إلى أعلى، يكون فوقه هواء أقل، وبالتالي يقل الضغط الواقع عليهم، فيتمدد ويشغل حجما أكبر. وهذا لا يمكن أن يحدث دون خفض درجة الحرارة. والواقع أن هذه هي نفس القاعدة المستخدمة في الثلاجات المنزلية. وعندما تنخفض حرارة الهواء إلى درجة كافية، فإنه يفقد قدرته على الاحتفاظ بكل بخار مائه الذي يتكاثف أولا على هيئة قطيرات، تندمج بعد ذلك لتكوين قطرات، أو رقائق ثلجية، أو حبات من البرد.

وتشاهد النتيجة النهائية لتصاعد الهواء إلى أعلى عندما تدفع رياح قوية هواء محملا بالرطوبة إلى أعلى على جانب أحد الجبال، كما يحدث في "هاواي" ومناطق أخرى كثيرة. إذ تتساقط أمطار غزيرة وتنمو نباتات كثيفة على جانب الجبل المواجه للريح. وعندما يتجاوز الهواء المندفع إلى أعلى قمة هذا الجبل، يكون قد فقد جزءا كبيرا من مائة، فيهبط إلى ارتفاعات أقل، حيث يسخن بفعل الانضغاط، تماما كما سبق له أن برد بفعل التمدد. ونتيجة لهذا، يحصل الجانب البعيد من الجبل وما جاوره من الأراضي على أمطار قليلة، يصبح قاحلا، وتنمو فيه نباتات تختلف اختلافا تاما عن تلك التي تنمو في الجانب المروي جيدا. وهكذا، فبينما يقال أن "الله يجود بالغيث على الصالح والطالح معا"، فقد لا يكون لك من هذا الغيث نصيب إذا لم تكن تعيش في الجانب المناسب من الجبل.

ويلاحظ تأثير الحواجز الأرضية على نطاق واسع في بعض أجزاء الهند التي تتقابل فيها الرياح الموسمية الشمالية الدافئة، وهي محملة بالرطوبة من المحيط الهندي الساخن، مع سفوح جبال "الهمالايا"، وهي أعتى سلسلة من الجبال على سطح الأرض. فعندما يندفع الهواء إلى أعلى مصطدما بجوانب الجبل المنحدرة، تتدفق الأمطار في سيول من السحب التي تمتلئ دائما وتتجدد بواسطة المزيد من الهواء الرطب الذي تجلبه الرياح الموسمية المنتظمة، ويستمر الحال على هذا المنوال طوال جزء كبير من السنة. ويصبح هذا الإقليم منطقة للسيول الجارفة والمنخفضات المغمورة بالفيضانات، وهي المناطق التي تنبع منها الأنهار الكبيرة.

وكثيرا ما يتجاوز معدل سقوط الأمطار ٤٠٠ بوصة في السنة وقد سجل معدل وصل إلى ٤٠.٨ بوصة في يوم واحد. وتعني البوصة الواحدة من ماء المطر ١١٣ طنا أو ٢٧.٤٠٠ جالونا من الماء في كل فدان، وإنه لمن العسير أن نفهم لماذا لا يكتسح كل شيء أو ينجرف بعيدا بفعل هذه الكمية الضخمة من الماء. ولكم تجني الهند من النعم والخيرات لو أنها استطاعت تحويل بعض هذه الأمطار الزائدة إلى مناطقها الصحراوية الشاسعة.

وهناك عدة أخطاء فكرية شائعة عن سقوط الأمطار يجدر ذكرها. أحد هذه الأخطاء أن المطر والثلج يتكونان على مسافة من المنطقة التي يسقطان فوقها، ثم تجلبهما الرياح فوق هذه المنطقة، والصحيح أنهما – على النقيض من ذلك – يتكونان دائما فوق المنطقة التي يسقطان فيها.

والخطأ الآخر هو أن إنجلترا ودول أوروبا الشمالية أكثر أمطارا من شرقي الولايات المتحدة. والواقع أن إنجلترا قد تحدث فيها أيام مطيرة أكثر، ولكن كمية الأمطار الساقطة فوقها تكون أقل كثيرا. فالمعدل السنوي لسقوط الأمطار في لندن يبلغ ٢٥ بوصة، وفي باريس وبرلين أقل قليلا، أما في بوسطون، ونيويورك، وبولتيمور فيتجاوز المعدل فيها جميعا ٤٠ بوصة، بل أنه يبلغ ٢٩ بوصة حتى في مدينة مينابوليس الداخلية ذاتها. والواقع أن المطر الذي يتساقط على إنجلترا يحتاج إلى وقت طويل كي يكون بوصة من الماء. وهناك أيضا تلك الخرافة التي سيطرت على العقول منذ أقدم الأزمنة، والتي تقول أن النهر يكون جافا عندما يشير قرنا الهلال الجديد إلى أعلى، لأن الماء لا يستطيع التسرب، أو يكون رطبا عندما يشيران إلى أسفل، لأن الماء يمكن أن ينسكب.

والحقيقة هي أن هذه الخرافة لا تقوم على أساس من الواقع أو التجربة، وكذلك الحال بالنسبة إلى الاعتقاد الأكثر شيوعا والقائل أنه لا بد أن تحدث عاصفة كبيرة عند حلول كل من الاعتدالين[٥٣] وهذا الاعتقاد يتمثل في قول الشاعر:

([٥٣]) الاعتدال أو الاستواء (سمي كذلك بسبب تساوي الليل والنهار فيه)، هو اللحظة التي تحدث مرتين كل سنة مدارية والتي تعبر فيها الشمس أثناء حركتها السنوية الظاهرية خط الاستواء الفلكي، متجهة جنوبا (حيث يحدث الاعتدال الربيعي في ٢١ مارس)، أو شمالا (حيث يحدث الاعتدال الخريفي في ٢٣ سبتمبر). (المترجم)

عندما تهب على الأطلسي عاصفة "الاعتدال" الهوجاء

لونجيلو Longfellow

والواقع أن موضع القمر وحلول الاعتدال هي مسائل فلكية لا علاقة لها بسقوط الأمطار أو هبوط العواطف. وآخر هذه المفاهيم الخاطئة هو أن الهواء يكون "ثقيلا" في الأيام التي يسقط فيها الدخان ويبدو الهواء رطبا. والواقع أن البارومتر في هذه الأيام يكون منخفضا، ويكون الهواء تحت ضغط أقل، وكثافته أقل من المعتاد، فلا يمكن والحالة هذه إلا أن يكون خفيفا، ولو كان ثقيلا لصعد الدخان إلى أعلى.

وربما كان الإعصار المداري هو أعتى الظواهر الجوية جميعا وأكثرها هولا، وهو بدورة يحدث نتيجة اندفاع الهواء إلى أعلى، ويعتنمد في قوته على إحدى خصائص الماء الفريدة. وتستمد هذه العواصف الضخمة المدمرة طاقتها من الحرارة المنطلقة من تكاثف الماء في الهواء. وهي في الواقع محركات لتوليد الحرارة كمحركات توليد البخار والتوربينات التي نستخدمها سواء بسواء، ولكنها تقوم بعملها على نطاق من الاتساع بحيث أن الطاقة التي يستهلكها إعصار كبير واحد تكفي لإمدادنا بقدر من الطاقة يساوي القدر الذي تولده جميع مراكز توليد القوى في العالم لعدة سنوات.

وتنشأ الأعاصير المدارية في أحزمة أرضية تقع بين خطي عرض ٦ و ٢٥ شمال وجنوب خط الاستواء. ومن المناطق الصالحة لتوليد هذه

الأعاصير، البحر الكاريبي، والمياه المحيطة بجزر الفيليبين، وبحر الصين (حيث تعرف في هذه المناطق بالأعاصير العاصفة أو التيفونات typhoons. وتتميز هذه المناتطق بطقس مطير متقلب مع رياح خفيفة متغيرة وتتكون الأعاصير ببطء، حيث يتضافر اتجاه الريح وحرارة الهواء على إحداث تيار صاعد من الهواء الدافيء الرطب فوق منطقة منخفضة الضغط. وعندما يتمدد الهواء الصاعد بدرجة كافية، يتكاثف بخار الماء بسرعة إلى سائل، حيكث يطلق كل رطل من هذا البخار نحو ١١٠٠ وحدة حرارية إنجليزية، وهو مقدار أكبر مما تستطيع أية مادة أخرى إطلاقه نتيجة تعرضها لنفس التغيير في الحالة. وإذا كانت الظروف ملائمة، فإن الحرارة تؤدي إلى حدوث اندفاع أكبر وأسرع للهواء الصاعد الرطب، الذي يهيىء، بدوره، مزيدا من التكاثف ومزيدا من الحرارة، مثله في ذلك مثل الوقود حين يلقى في النار، وهكذا تتقدم العملية كلها، وتزداد حجما، وسرعة، وعنفا.

ويحدث الاندفاع الهائل للهواء الصاعد تفريغا جزئيا عند قاعدة العمود الهواء المتجهة إلى أعلى. وهذا يؤدي إلى جذب الهواء من جميع الاتجاهات نحو مركز المناطق المنخفضة، غير أن دورات الأرض يحول، بفضل ما يعرف بتأثير "كوريوليس" [٥٤] Coriolis effect دون هبوب

([٥٤]) الاسم يرجع إلى جاسبار كوريوليس Gaspard Coriolis، وهو مهندس مدني فرنسي، توفي سنة ١٨٤٣، والمقصود من هذا التأثير درجة الانحراف التي تطرأ على الأجسام المقذوفة فوق الأرض نتيجة لدوران الكرة الأرضية. وهذا التأثير هو الذي يسبب اتجاه الرياح إلى اليمين في نصف الكرة الشمالي وإلى اليسار في نصفها الجنوبي. (المترجم)

الرياح نحو المركز باشرة، وبسبب دورانها حوله، مما يؤدي إلى تكوين عاصفة دائرية عنيفة، يرتاوح قطرها بين مائتي وثلاثمائة ميل، ويزيد على ذلك كثيرا في بعض الأحيان، هادئة نسبيا تقع في مركزها تماما. وهذه هي "العين" التي يتراوح قطرها عادة بين خمسة أميال وعشرة، وفيها قد يكون البحر هادئا والسماء صافية، ولكن يوجد في كل اتجاه من حولها جحيم من الطاقة الطليقة الجبارة التي تتلاعب بالسفن الضخمة كما لو كانت قطعا من الفلين، وتسوي كل شيء في طريقها بالأرض عندما تمر عبر جزيرة منكودة الطالع، أو ترتطم بالبر.

وتستمر الأعاصير فترة تتراوح بين بضعة أيام وثلاثة أسابيع، ويسير بعضها آلاف الأميال، بسرعة عشرين أو ثلاثين ميلا في الساعة فقط، بينما تهب الرياح حول "العين" بسرعة ١٠٠ – ٢٠٠ ميل في الساعة. وقد يبدو هذا الانطلاق الهائل في الطاقة، وكذلك هذه السرعات، أمورا غير معقولة بالنسبة إلى الشخص الذي لم ير أو يعاني من إعصار في عنفوان قوته، ولكن توجد – لسوء الحظ – براهين كثيرة على ذلك، ومن أمثلة هذه البراهين صورة فوتوغرافية التقطت لشجة نخيل ضخمة اخترق جذعها حتى المركز لوح خشبي طوله عشرة أقدام، وعرضه اثنتا عشرة بوصة، وسمكه بوصة.

وتحدث أكبر خسارة في الأرواح بفعل الأعاصير نتيجة لكتل الماء الضخمة التي ترفعها هذه الأعاصير وتدفعها أمامها. وقد تمثلت هذه الحالة في مدينة "جالفستون" Galveston عام ١٩٠٠، وذلك عندما جمع أحد

أعاصير جزر الهند الغربية مياه خليج المكسيك وكومها في أمواج هائلة اكتسحت المدينة، حيث أغرقت ستة آلاف شخص، وأنزلت بشوارعها الخراب والدمار. غير أن سكان المدينة لم يقتصروا على إعادة بنائها واسترجاعها بسرعة من براثن الدمار، ولكنهم تحدوا أيضا قوة الأعاصير المستقبلة ببناء حاجز بحري ضخم، يبلغ عرضه ستة عشر قدما عند القاعدة وخمسة أقدام عند القمة، ووزنه عشرون طنا بالنسبة إلى كل قدم طولي. أما طوله فقد بلغ خمسة أميال، وارتفاعه سبعة عشر قدما فوق متوسط المد المنخفض، الذي يرتفع قدما ونصف فوق منسوب الماء في الإعصار الكبير. أما خلف الحاجز، فقد رفعت درجة الميل في المدينة كلها من قدم واحد إلى خمسة عشر قدما، وهذه إحدى ردود الإنسان على أقوي تحالف بين الماء والريح تستطيع الطبيعة إشهاره في وجهه.

وعندما تترك الأعاصير البحر ويتحرك فوق اليابسة، تفقد المصدر الذي كان يغذيها بالهواء المشبع بالرطوبة، ولذلك يقل التكاثف السريع الذي كان يمدها بالطاقة، فتضمحل وتتلاشى. ويحدث نفس الشيء عادة عندما تتجه إلى خطوط عرض أعلى، شمالا أو جنوبا. ولكنها لا تتحرك مطلقا جنوب خط الاستواء. وتهب الرياح الدائرة شماليها في عكس اتجاه عقارب الساعة، وجنوبيها في اتجاه هذه العقارب، وذلك بسبب دوران الأرض.

والزوبعة وهي عاصفة أرضية، هي الأخت الصغرى للإعصار. وتتميز بدوامة صغيرة ذات ضغط منخفض جدا تحيط بها رياح دائرة ذات سرعة

لا تكاد تصدق. ويجذب مركز الزوبعة، عندما تكون في اليابسة، الغبار وكل شيء آخر تقريبا يقع في طريقه، بحيث يبدو عادة كسحابة سوداء قميئة الشكل. وهو يحدث تفريغا من القوة بحيث يجذب جدران المنازل، ويكاد يحطمها، وكذلك تكون الرياح الدوارة قوية بدرجة تكفي لتدمير المنشآت المتينة ذاتها. ولما لم يكن الماء يقوم في الزوابع الأرضية بدور كذلك الذي يقوم به في الأعاصير البحرية، فسوف نصرف النظر في هذا الكتاب عن الكلام عن هذه الزوابع، مكتفين بأن نقول أن العاصفة المائية هي زوبعة تحدث في البحر، وتجذب الماء بدلا من الغبار والحطام الأرضي.

والعاصفة الرعدية من أكثر مظاهر الماء الموجود في الهواء شيوعا، ومع ذلك فإن كيفية توليدها للضغوط الكهربية الهائلة التي تدفع وميض البرق من سحابة إلى أخرى ثم إلى الأرض، ظلت لغزا محيرا تحدى دارسي الظواهر الكهربية وملاحظيها منذ وقت بعيد يرجع إلى عام ١٧٥٢، وذلك حين قام "بنجامين فرانكلين" Benjamin Franklin بإجراء تجربته الشهيرة بواسطة طائرته الورقية، تلك التجربة التي أثبت فيها أن وميض البرق هو شرارات كهربية متصلة كتلك التي تنتج بواسطة آلته الاحتكاكية، أو عن طريق الربت على ظهر القط في ظروف ملائمة. ولكن لم يعرف بعد ذلك عن هذه الظاهرة، طوال جيل، سوى قليل من المعلومات الإضافية. ثم أوحى "مايكل فاراداي" (١٧٩١ – ١٨٦٧)، العالم الإنجليزي الذي اخترع أول مولد كهربي (دينامو) أن من الممكن إحداث جهد كهربي مرتفع، وكذلك تيار كهربي قوي، عن طريق دفع رذاذ مائي سريع بواسطة

البخار ليرتطم بسطح مائي. وقد دامت هذه التجربة على أن البرق يحدث نتيجة احتكاك الماء بالماء، أو الماء بالهواء.

ثم أخذت المعلومات الإضافية تتجمع ببطء، ولم يتسن للعلم أن يعرف المزيد عن كيفية حدوث البرق وسببه إلا منذ جيل مضي وفي وقت قريب، أدت الكاميرا السريعة، وجهاز تسجيل الذبذبات الكهربية وأشكال الموجات، وكذلك الحاجة الملحة إلى وقاية خطوط التوصيل الكهربية من أضرار البرق، وإلى إضافة الكثير من المعلومات لما نعرفه عما يحدث فعلا لإنتاج البرق. وهناك اتفاق عام حول النقاط الرئيسية لهذا الموضوع، أما بالنسبة إلى التفاصيل فإن النظريات الأساسية، بل والملاحظات الفردية، لا تخلو من التناقض.

والفكرة العامة، هي أن المطر، أو الثلج، أو البرد المتساقط أثناء العواصف الرعدية، يصبح مشحونا بإحدى الشحنتين الكهربيتين. وهذا يعني أن جزيئات الماء في هذه الحالات لم تعد متعادلة، بل أصبحت متأينة وتحمل شحنة زائدة موجبة أو سالبة. ولما كانت قطيرات الماء وجزيئات الهواء التي تحملها التيارات الصاعدة لعاصفة تجمع شحنات متخالفة، فإن الجزء السفلي من السحابة تتكون عليه شحنة سالبة، بينما تتكون على الجزء العلوي شحنة موجبة، على أن الأرض الواقعة تحت السحابة تتجمع عليها شحنة سالبة عن طريق الانتقال. وتستمر هذه العملية حتى يصبح الجهد الكهربي كافيا لتحطيم مقاومة الهواء العازلة، فيقفز وميض البرق من السحابة إلى الأرض، أو من سحابة إلى أخرى. ويبدو أن تسعة أعشار

الوميض الذي ينتقل من السحب إلى الأرض يبدأ بواسطة الشحنة السالبة.

وقد يصل الجهد الذي يسبب الوميض إلى حدود ٢٠.٠٠٠.٠٠٠ فولتا، بينما قد يصل التيار الناتج عنه إلى ٢٠٠.٠٠٠ أمبير. وإذا حاولنا أخذ فكرة عن الطاقة المتمثلة في وميض شديد، وإذا ضربنا الرقمين السابقين، فإننا نحصل على رقم هائل هو ٤.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠ كيلو وات. على أننا إذا تذكرنا أن الوميض يستمر جزءا من مائة جزء من الثانية أو أقل، فإن الطاقة الكلية تبلغ نحو ١١.٠٠٠ كيلووات ساعة، وهو رقم يبدو أكثر تمشيا مع العقل. وومضة البرق شبيهة بانفجار مادة (T.N.T)[٥٥] التي لا تتوقف قدرتها التدميرية على كمية الطاقة الكلية التي تطلقها، بل على استخدام قوة هائلة لجزء صغير من الثانية.

وقد عرف قدر كبير من المعلومات الخاصة بالبرق عن طريق الملاحظات التي أجريت على الوميض الذي يرتطم بقمة مبنى "الإمباير ستيت" Empire State بنيويورك، وهي هدف صالح لصواعق العواصف الرعدية. ومن حسن الحظ أن المباني المصنوعة من الصلب تمتص وميض البرق دون أن تلحق بها سوى أضرار طفيفة، أو لا تلحق بها أضرار على الاطلاق. ومن بين الأشياء التي أوضحها التصوير الفوتوغرافي أن أغلب الوميض يكون مضاعفا. فقد أثبتت آلة خاصة من آلات التصوير السريعة

---

(٥٥) اختصار لمادة الترايتروتولوين Trinitrotoluene، وهي مادة مفرقعة شديدة الانفجار. (المترجم)

أن إحدى الومضات التي ارتطمت بمبنى "الإمباير ستيت" هي في الواقع أحد عشرة ومضة منفصلة، في حين أن إحدى الكاميرات العادية سجلتها على أنها ومضة واحدة.

ويرى أغلب الناس، بالإضافة إلى الوميض الساطع المألوف الذي يعقبه الرعد، وميضا يضيء مساحة كبيرة من السماء، دون أن تصحبه تلك الخطوط المتعرجة البراقة أو يعقبه رعد. وهذا "البرق الحراري" لا تربطه بالحرارة أية علاقة على الإطلاق. وهو لا يعدو أن يكون وميضا عاديا في عاصفة وراء الأفق، أي أنه يبعد عنها مسافة لا نستطيع معها رؤية الوميض مباشرة أو نسمع الرعد.

وهناك شكل آخر من البرق هو "البرق الكروي" Ball Lightning. فهناك قصص غريبة تروى عن كرة من النار تتدحرج فوق الأرض، ثم تدخل منزلا وتتجول فيه على مهل، وأخيرا تخرج منه أو تنفجر فيه دون أن تلحق بأحد أذى، والواقع أن أحدا لم يهتد بعد إلى تفسير مقنع لهذا السلوك المفرط الشذوذ الذي تقوم به حزم الكهرباء هذه، كما أنه من الواضح أن أحدا لم يلتقط لإحداها صورة وهي تعمل. وربما لم يكن في ذلك ما يدعو إلى الاستغراب، إذ أن أغلبنا، إذا ما رأى كرة ضخمة من نار زرقاء تدخل احدى نوافذه، سينسى المكان الذي يحتفظ فيه بآلته الفوتوغرافية. وهناك أيضا "نار القديس المو" St. Elmo's fire التي ترى غالبا على أشرعة السفن وسارياتها، وهي نوع من البرق الاحتكاكي، يحدث نتيجة احتكاك الهواء الرطب على الأرجح. وهي لا تؤذي، وكان الرومان

والإغريق القدماء يطلقون عليها اسم "كاستور وبولكس" [٥٦] Castor and Pollux، ويعتقدون أنها تجلب الحظ السعيد لسفنهم:

في أمان تعود السفينة إلى المرفأ

مهما مر بها من أعاصير وأنواء.

إن كان التوأمان الهائلان

جالسين على قلوعها بنورها الوضاء

ماكولا "معركة بحيرة ريجيلس"

ولا يخفى أن العواصف الرعدية إن هي إلا ريح وماء، وما البرق إلا نتاج ثانوي للماء. أما الرعد فيمكن أن يوصف بأنه نتاج من الدرجة الثالثة، لأنه يحدث نتيجة البرق. وليس في مقدورنا أن نقول أن البرق شيء يميل إليه الناس، إذ أن كثيرا منهم يخافون منه دون مبرر. فلو أننا قارنا الخسائر التي يسببها البرق في الولايات المتحدة كل عام، والتي يبلغ مجموعها نحو ٤٠٠ وفاة وألف إصابة، لوجدناها غير ذات أهمية بالنسبة إلى الخسائر الناتجة عن حوداث السيارات، والتي تبلغ نحو ٤٠.٠٠٠ قتيل ومليون جريح. وقد كانت القضبان مانعة الصواعق التي ابتكرها "بنجامين

---

(٥٦) كاستور وبولكس شخصيتان بطوليتان في الأساطير الإغريقية والرومانية. وهما توأمان ماردان أنجبهما الإله "زيوس"، وكانا بارعين في القتال، واشتهر أولهما بوصفه مدربا للخيول، والآخر بوصفه ملاكما ومصارعا. اتخذهما البحارة حاميين وناصرين، ونسبوا إليهما الظاهرة المعروفة باسم "نار القديس ألمو". (المترجم)

فرانكلين" شائعة جدا في المناطق الريفية في وقت ما، حيث كانت أغلب الحرائق تبدأ بحدوث البرق، ولكنها أصبحت الآن قليلة الاستعمال. وأكبر دليل على أنه لا يمكن الاعتماد عليها كثيرا في الوقاية، هو أن شركات التأمين لا تخفض قسط التأمين أبدا في حالة تركيب هذه القضبان.

وبعد هبوب العاصفة، ووميض البرق، ودوي الرعد، يظهر قوس قزح: ثابتا، هادئا، وجميلا. وهكذا يثبت الماء تعدد جوانبه عن طريق إظهار خصائصه الضوئية. ويتكون القوس من سبعة أقواس متحدة المركز، يمثل كل منها أحد الألوان الأولية التي يتألف منها الطيف الشمسي. ويمكن – أحيانا – تمييز هذه الألوان السبعة جميعا. وإن كان ذلك غير ممكن في الغالب. وتفصل قطرات الماء ألوان الضوء عن طريق الانكسار، بنفس الطريقة التي شطر بها "نيوتن" ضوء الشمس بواسطة منشوره الزجاجي. وكلما زاد حجم القطرات، زاد لمعان الألوان وتألقها. وعندما تكون الشمس منخفضة، يكون القوس عاليا، ولذلك لا يستطيع المرء أن يراه في منتصف النهار إلا من فوق قمة جبل. ويقع القوس دائما في مواجهة الشمس، وهو في الواقع دائرة كاملة، ولكن جزءه الأسفل يقع تحت دائرة أفق المشاهد، على أنه يمكن رؤية دوائر كاملة تقريبا في الرذاذ المتناثر من مساقط المياه.

نبذة عن الرطوبة :

الرطوبة، وهي مقياس بخار الماء في الهواء، مفيدة إذا وجدت باعتدال، ومضرة إذا وجدت بكثرة، شأنها في ذلك شأن أي شيء آخر. ويمتلك الإنسان وغيره من الثدييات جهازا رائعا لتنظيم درجة حرارة أجسامهم. وسواء كنا في المنطقة القطبية التي تنخفض حرارتها إلى ٥٠ درجة تحت الصفر، أو في المناطق المدارية التي ترتفع حرارتها إلى ١٠٠ درجة في الظل، فإننا نستطيع الاحتفاظ بحرارة لحمنا ودمنا قريبة جدا من درجة ٩٨.٦ طالما كنا أصحاء، كما أننا لا نستطيع احتمال أي انحراف كبير طويل الأمد عن هذه الدرجة العادية، سواء أكان هذا الانحراف بالزيادة أو بالنقصان. وهذا الثبات الحراري الذي يستمر على الرغم من التغيرات الكبيرة، المفاجئة في أغلب الأحيان، التي تطرأ على كمية الحرارة التي نتلقاها من الوسط المحيط بنا أو التي تخرج منا إليه، يتم أساسا عن طريق زيادة أو تقليل تبخر العرق (وهو ماء) من أجسامنا. وتتوقف كمية العرق التي يمكن تبخرها في وقت معين على نسبة الرطوبة في الهواء. ولذلك فإن الرطوبة لها علاقة كبيرة براحة الإنسان.

وإذا وصلت الرطوبة النسبية إلى ١٥%، كما يحدث أحيانا في الصحراء أو في منازلنا أثناء الجو الشديد البرودة، فإن الهواء يكون متعطشا للماء ويمتص البلل من مسامنا بشراهة. أما إذا وصلت الرطوبة إلى ٩٥%، كما يحدث أحيانا في الجو الحار في أجزاء كثيرة من العالم، فإن

الهواء يكون مشبعا بالماء تقريبا، ولا يستطيع أخذ المزيد إلا قليلا، وكلا الحالتين مرهقة للإنسان وغير ملائمة له.

وعندما تصل نسبة الرطوبة في إحدى الغرف إلى ١٥%، فإن تبخر العرق السريع يؤدي إلى برودتنا، فنشعر ببرد يماثل ذلك الذي نشعر به لو كانت حرارة الجو المحيط بنا أقل عدة درجات ونسبة الرطوبة به ٥٠ %. ويبدو جلدنا جافا ومشدودا.، وتنكمش قطع الأثاث وتتشقق، ويصعب غلق الأبواب. وذلك لأن الهواء الجاف يستخرج الماء حيثما وجده، ويسهل على الجسم – في الظروف التي يكون فيها الهواء جافا والحرارة أقل من حرارتنا – أن يتخلص من الحرارة الزائدة، إذ أن كل رطل من العرق المتبخر يخرج من أجسامنا ما يربو على ألف وحدة حرارية، ولذلك فإن الرطوبة المنخفضة تساعد على الراحة في الجو الحار. ولكن من سوء الحظ أن الصحاري وحدها هي التي تجمع بين درجات الحرارة العالية والرطوبة المنخفضة، فللصحراء – باستثناء هذه الميزة – عيوب أخرى واضحة تحول جون اتخاذها أماكن للسكنى.

وعندما يسجل الترمومتر المنزلي الموجود لدينا ٩٨ درجة، ويشير مقياس الرطوبة – إذا كان لدينا واحد – إلى رطوبة نسبية قدرها ٩٨% ، فإننا كل ما نستطيع أن نفعله هو تشغيل المروحة، والقيام بأقل قدر ممكن من المجهود الجسمي، وتناول بعض المشروبات المرطبة، والتفكير في ولاية

"مين" [٥٧] Maine أو في كندا. وإذا لم تفلح الحيلة الأخيرة، كما هو مرجح، فبوسعنا أن نجرب التفكير في أن الجو في الهند أو في إفريقيا الاستوائية أسخن على الأرجح من الجو الذي نعيش فيه ومساو له في الرطوبة. أما إذا لم تفلح كل هذه الحيل، فليس أمامنا إلا التفكير جديا في مسألة تكييف الهواء.

وللرطوبة العالية تأثيرات أخرى، فهي تؤدي إلى نمو العفن بغزارة في الدواليب المقفلة وربما في آلات البيانو، وإلى تلف الأطعمة، وصدأ الحديد، والصلب، وبعض المعادن الأخرى بسرعة أكبر، وانتفاخ الأبواب والنوافذ والتصاقها. ويتغلغل بخار الماء المتسرب في جميع أنواع الألياف النباتية تقريبا، ويغير أبعادها وخواصها الطبيعية. ومما يدعو إلى الدهشة، ويبعث على الضيق، أن نجد بابا مغطى بعدة طبقات من الطلاء، ومثبتا في مكانة منذ أربعين عاما، ولا يزال يمتص من الهواء في كل صيف قدرا من الماء يكفي لجعله منتفخا لزجا. ويصادف عمال الطباعة نفس الصعوبة بالنسبة إلى الكتل الخشبية التي تثبت عليها صفائح الرسوم المعدنية. والواقع أن بعض الأجهزة المستعملة في قياس الرطوبة النسبية وتسجيلها، تستخدم تأثير بخار الماء الموجود في الهواء على تمدد أو تقلص شعرة أو نوع آخر من الألياف النباتية أو الحيوانية.

([٥٧]) ولاية أمريكية تقع في الجزء الشمالي الشرقي من الولايات المتحدة، وتتميز بجوها البارد الجاف، ولذلك كانت مصيفا مشهورا.

(المترجم)

وقد تمت أولى محاولات الإنسان لتغيير الظروف المناخية والتحكم فيها عن طريق بناء نوع من المأوى الذي يدرأ عنه الرياح، والأمطار، والثلوج، وحرارة الشمس، وعن طريق إشعال النار عندما يشعر بالبرد القارص. كما تبين له أنه يستطيع زيادة الرطوبة عن طريق رش الماء في المكان الذي يعيش فيه، وأن تبخر الماء في الجو الحار، الذي يكون فيه الهواء جافا، يؤدي إلى خفض درجة الحرارة. ولذلك شاعت دائما إقامة النافورات في الأفنية الداخلية للمنازل في البلدان الحارة الجافة بين أولئك الذين يقدرون على إقامتها. كما أن تبريد الماء عن طريق التبخر من السطح الخارجي للأواني الفخارية المسامية أسلوب متبع في الأجواء الشديدة الحرارة.

وعلى الرغم من أن الإنسان قام – خلال آلاف من السنين – بإدخال التحسينات على أنظمة مبانية وأساليب تدفئته، فإنه لم يحرز أي تقدم فعلي في عملية تبريد المكان الذي يعيش فيه، وخفض رطوبته، إلا منذ بداية القرن الحالي فحسب. ثم أخذت عملية تكييف الهواء، التي توفر الراحة للإنسان وتزيد طاقته الإنتاجية، تنمو بسرعة إلى أن أصبحت صناعة ضخمة ويندر، في حالة تكييف الهواء من أجل راحة الإنسان، أن يكون رفع نسبة الرطوبة أمرا ضروريا إلا في الأجزاء الباردة الجافة من العالم، حيث لا يكون من الصعب إدخال الماء في جهاز التكييف وإعطاء الهواء الشديد الجفاف صفة تبخير هذا الماء.. أما الأصعب من ذلك كثيرا، فهو نزع بخار الماء من الهواء بنفقات معتدلة. وهناك طريقتان شائعتان

لذلك: احداهما تتلخص في ضغط الهواء ثم تبريده، بحيث يتكثف بعض بخار الماء وينضغط إلى الخارج على هيئة سائل.

أما الطريقة الأخرى فهي أكثر دقة وتعقيدا، وفيها يمرر الهواء الذي يراد نزع رطوبته على حبيبات السليكا الغروية Silika gel، أو ما شابهها من المواد. والسليكا الغروية تبدو كحبات الرمال الخشنة، غير أن كل حبة منها تمتلىء بمسام وأنابيب صغيرة للغاية. وتتجمع جزيئات الماء الموجودة في الهواء داخل هذه الأنابيب المجهرية، وحيث تجذبها قوة شبيهة بالجاذبية الشعرية. وعندما تمتص حبيبات السليكا، التي تحولت الآن إلى هلام، كل ما تستطيع امتصاصه من الماء تقريبا، تسحب من الوسط، أو يمرر الهواء بعيدا عنها. ثم يسخن هلام السليكا، حيث يندفع الماء خارج مسامه، ويصبح معدا لإعادة الدورة واستخراج مزيد من الماء من الهواء.

ويمكن، بهاتين الطريقتين، التوصل إلى أية درجة من الجفاف تقريبا، والاحتفاظ بها.

وليس هناك اتفاق تام بشأن نسبة الرطوبة المثلى اللازمة لصحة الإنسان وراحته، ويبدو أن أغلب الناس يعتقدون أن هذه النسبة تبلغ نحو ٥٠%، وهي حوالي النسبة التي توجد في يوم من أيام الربيع اللطيفة التي تسود شرقي أمريكا، تلك الأيام التي نصف هواءها بأن عطري ومنعش، غير أن بعض العمليات الصناعية تقتضي خفض نسبة الرطوبة عن ذلك بكثير؛ ففي المصانع التي تنتج فيها كابلات التليفون عن طريق وضع كثير

من الأسلاك النحاسية المعزولة بواسطة الورق داخل غلاف من الرصاص، يكون من الضروي ألا تحوي الأسلاك المعزولة أية نسبة من الرطوبة تقريبا عند لحامها. وللتوصل إلى هذه النتيجة، يجفف الهواء في الغرفة التي تجرب فيها هذه العملية إلى أن تنخفض نسبة الرطوبة فيه إلى ٠.٠٥% فقط، وهي نسبة تجعل هذا الهواء أكثر جفافا من هواء الصحراء الكبرى بنحو ثلاثين ضعفا.

ويستطيع الشخص في مثل هذا الهواء المنخفض الرطوبة تحمل درجات من الحرارة يمكن أن تكون منهكة للقوى في الظروف العادية. وفي استطاعة الإنسان، إذ شرب كثيرا من الماء لإخراج العرق، أن يكون في حالة لا بأس بها من الراحة عندما تكون حرارة الهواء المحيط به ١٠ درجات، ونسبة الرطوبة فيه ٥٠%. وعندما تركت سفننا الحربية مخزونة بغير استعمال، كان الاحتفاظ بدرجة منخفضة من الرطوبة جزءا مهما من البرنامج الذي وضع لصيانتها، والذي تطلب تركيب أجهزة مناسبة لتحقيق هذا الخفض في درجة الرطوبة. بيد أن هناك عمليات صناعية، مثل تجهيز الطبقات تتطلب رطوبة عالية نسبيا.

إننا نعيش في قاع محيط من الهواء ليس له سطح علوي محدد، ولكن يمكن القول بأن عمقه يبلغ نحو مائتي ميل. وهو محيط غير مستقر، كما أنه ممتزج ببخار الماء الذي يكسبه لونا، وتنوعا، وحركة. وقد منحنا الماء جونا الذي نعيش فيه. وذلك بفضل تحايله على إخفاء نفسه ثم الظهور ثانية

على هيئة سائل أو جسم صلب، وبفضل قدرته على امتصاص أو إطلاق كميات ضخمة من الطاقة الحرارية.

ولم يكن الجو – منذ أقدم الأزمنة – مثارا للمناقشة والحديث فحسب، بل أنه أجبر الإنسان أيضا على شحذ ذكائه وتنمية معلوماته من أجل وقاية نفسه من تطرفاته، والعيش سعيدا وسط تقلباته.

وعملية إسقاط المطر الصناعي هي أروع محاولة قام بها الإنسان للتحكم في الجو، وأكثرها استرعاء للأنظار. وعلى الرغم من أنه ظل يسعى إلى هذا الهدف منذ عدة قرون، فإن أساليبه لم تصبح علمية إلا منذ وقت قريب. أما قبل ذلك فإنه لم يحرز أي تقدم في هذا المضمار. وفي العقد الأخير، بدأت محاولة اصطناع المطر عن طريق تبريد حجم صغير من الهواء بواسطة الجليد الجاف، أو عن طريق استخدام حبيبات دقيقة، من يوريد الفضة عادة، لتنشيط تكاثف وتكوين قطرات كبيرة بدرجة تكفي للتساقط على هيئة مطر.

ولا يخفى أنه لزم، لإنتاج أية كمية من المطر تكون خليقة بما نبذله من المجهود، أن تكون عملية الإنتاج هذه مستمرة ومكيفة بذاتها بمجرد بدائتها، أي أن المادة المكونة للمطر تكون بمثابة عود الثقاب الذي يشعل الحريق فقط. وعلى الرغم من أن التقييم النهائي لنتائج هذه العملية لم يصبح بعد أمرا ممكنا، فإننا نستطيع أن نقول أن المطر لا يمكن تنشيطه بالطرق الصناعية إلا إذا وجدت كمية كبيرة من الرطوبة في الهواء، وأنه لا

يمكن جلب هذا المطر من منطقة بعيدة. ولا تستطيع المادة المنشطة للمطر، عادة، أن تفعل شيئا إلا إذا كانت السحب المحملة موجودة بالفعل.

ويبدو من المؤكد أنه يمكن اصطناع المطر في ظروف ملائمة خاصة لا تتوافر كثيرا في الجو الجاف، ولكن يحق للمرء في هذه الحالة أن يشك في أن المطر كان سيسقط عل أية حال، دون مساعدة المادة المنشطة. والواقع أن هناك اختلافا كبيرا في الرأي حول ما إذا كانت إثارة المطر بالطرق الصناعية قد أدت إلى زيادة سقوط المطر بدرجة تكفي لجعله ذا قيمة اقتصادية. ويبدو من المؤكد إلى حد كبير أن تكوين المطر لا يمكن أن يكون فعالا في المناطق التي يسودها الجفاف عندما تكون الظروف الجوية غير ملائمة.

والواقع أن الطبيعة تضع دائما حدا لما يمكن للإنسان أن يفعله إزاء عملياتها الواسعة النطاق، وإذا قدر لعملية تكوين الأمطار أن يتسع نطاقها في وقت من الأوقات إلى الدرجة التي يكون معها إنتاج أمطار محلية أمرا مؤكدا، حتي لو كان ذلك في ظروف مواتية ومحدودة للغاية، فإن هذا سوف يثير بعض المشكلات المحيرة أمام الفقهاء والمشرعين. إذ أن هذه المشكلات، مثل المنازعات التي ستقوم حول صاحب السحب المتحركة، وحقوق ملكية المياه في الهواء، ستكون شيئا جديدا، مختلفا، وصعبا.

الفصل السابع

المياه الداخلية

سيتناول هذا الفصل والذي يليه الماء فوق الأرض وفي باطنها، وما يفعله فيها وعليها. وأول شيء تجدر ملاحظته في هذا الصدد هو تلك الحقيقة الواضحة إلى حد ما – ألا وهي أن الماء الموجود فوق الأرض وفي داخلها قد سقط من الغلاف الجوي، وأنه في طريقه ثانية إلى المحيطات، التي هي مسكنه ومقره.

ويبدو أن المعنى المقصود بعنوان "المياه الداخلية" هو الأجسام المائية المحاطة بالأرض، وعلى أساس هذا التعريف يمكن تقسيم هذه المياه إلى خمس مجموعات هي:

(١) المياه التي تجري فوق الأرض، أي الجداول والأنهار

(٢) البحار، والبحيرات، والبرك التي لها مخارج تنساب منها المياه

(٣) البحار والبحيرات التي ليست لها مخارج

(٤) المياه الموجودة تحت سطح الأرض

(٥) الأجسام المائية التي تكاد تكون محاطة بالأرض، ولكنها متصلة بالمحيطات التي تمدها بكميات من الماء تكفي لحفظ منسوبها عند مستوى سطح البحر.

وهناك اختلاف أساسي بين المجموعة الخامسة والمجموعات الأربع الأخرى، ولذلك سنتناول هذه المجموعة بإيجاز قبل مناقشة المجموعات الأخرى الأكثر ارتباطا. وتتكون هذه المجموعة من بحرين أو ثلاثة بحار كبيرة جدا، وعدد لا حصر له من البرك والخلجان الصغيرة. والحقيقة المهمة أن جميع هذه الأجسام المائية تفقد من الماء في كل عام عن طريق التبخر أكثر مما تتلقاه من الأرض وتساقط الأمطار[٥٨]. ولولا أنها تمتلئ ثانية من المحيط، لتضاءلت أو ربما اختفت كلية. فالبحر المتوسط، والبحر الأحمر، وربما الخليج العربي (الفارسي) أيضا، تفقد كلها مقدارا من الماء في الهواء أكبر مما تتلقاه منه ومما يصب فيها من الأرض، وهي كلها تتصل بالمحيط عن طريق منافذ ضيقة نسبيا.

ويتلقى البحر المتوسط فيض كثير من الأنهار، منها الكبير ومنها الصغير. فالنيل، والبو، والرون، وفائض البحر الأسود، الذي يجلب المياه من الدانوب. والدون، والدن يبر، وعدد كبير من الجداول الأقل أهمية كلها تصب في البحر المتوسط حجما هائلا من الماء، ولكن الشمس والرياح الجافة القادمة من الأراضي القاحلة تأخذ منه حجما أكبر. وليس

---

(٥٨) تستخدم عبارة "تساقط الأمطار" Rainfall في هذا الكتاب بأوسع معانيها لتتضمن جميع صور الماء التي تتساقط من الهواء، وهي: المطر، والثلج، والبرد، والمطر الثلجي، والندي.

هذا بالأمر المستغرب إذا نظرنا في الخريطة ورأينا أن البحر المتوسط لا يتلقى، من الغرب والجنوب والشرق، سوى نهر كبير واحد، هو النيل. كما أن معدل سقوط المطر فوق الجزء الأكبر من مساحته منخفض إلى حد ما، ولذلك كان ولا بد لهذا البحر، وهو أكبر البحار الداخلية ويتجاوز طوله ألفي ميل، أن يعتمد في الاحتفاظ بحجمه ومستواه على مياه المحيط المتدفقة عبر مضيق جبل طارق الذي يبلغ عرضه عشرة أميال. وإذا حدث أن أغلق هذا المضيق بفعل حركة أرضية عنيفة، لبدأ البحر المتوسط في الانكماش والضمور.

أما البحر الأحمر، الذي يتجاوز طوله ألف ميل بكثير، فتحيطه الصحاري، ويتميز بأنه الوحيد من بين الأجسام المائية الداخلية الكبيرة الذي لا يصب فيه أي نهر على الإطلاق. ولما كان هذا البحر يسوده مناخ حار جاف، فليس ومن المستغرب أن يفقد من الماء عن طريق البخر أكثر كثيرا مما يتلقاه عن طريق المطز أو التصريف الأرضي. ويقع الخليج العربي (الفارسي) أيضا في منطقة حارة، ويتلقى – كالبحر المتوسط – التسريف المائي من اتجاه واحد فقط، هو الشمال، إذ يصب فيه نهران كبيران هما دجلة والفرات، ولكن سقوط المطر فوقه يكون قليلا، بينما يتبخر الماء منه بنسبه عالية.

أما المجموعات الأربع الاخرى من المياه الداخلية، فتعتمد في تغذيتها وحفظ كيانها، كلية، على الماء المتساقط من الهواء – الذي ذكرنا عنه بعض المعلومات في الفصل السادس. ومن الواضح أن الماء لا يستطيع الصعود

في الهواء إلا عن طريق التبخر، وأن أغلب هذا الماء لا بد أن يأتي من المحيطات التي يقدر متوسط البحر السنوي منها بست وثلاثين بوصة. ولو سقط هذا المقدار كله في المحيطات ثانية، لما حصلت اليابسة على شيء منه. أما لو سقط كله عل اليابسة، فإن متوسط سقوط الأمطار عليها يرتفع إلى نحو ٨٥ بوصة، بالإضافة إلى مقدار آخر من الأمطار يرجع إلى إعادة تبخر الماء من اليابسة والمياه الداخلية ، وهو مقدار كبير بدرجة تدعو إلى الدهشة، إذ أن متوسط البخر حتى في منطقة من المياه الشمالية، مثل بحيرة "سوبيريور"، يبلغ عشرين بوصة في السنة. ومن حسن الحظ أن الأمطار الفعلية التي تسقط عليه اليابسة تحتل مكانا وسطا بين هاتين الحالتين المتطرفتين، إذ تحمل الرياح البخار والسحب من البحر إلى اليابسة، وتسقط الأمطار في الزمان والمكان اللذين تسمح فيهما الظروف بتكاثف هذا البخار.

وتوزيع الأمطار، كما نعرف جميعا، بعيد جدا عن أن يكون سويا وعادلا، ولكن السبب الأكبر في ذلك هو تجعد الأرض إلى سلاسل الجبال، مثل جبال الهيمالايا التي تسبب سقوط وابل من الأمطار على أحد الجانبين، ورذاذ قليل على الجانب الآخر.

ولو كان ارتفاع المستويات الأرضية متناسقا بدرجة كبيرة، وكذلك توزيعها على الكرة الأرضية، لكان سقوط المطر أكثر تناسقا إلى حد بعيد، ولكانت اختلافات الحرارة أقل كثيرا. بيد أننا لا نعيش في هذا النوع من

العالم، إذ أن الجزء الأكبر من اليابسة يقع في نصف الكرة الشمالي، بينما ترجح كفة المياه في النصف الجنوبي إلى حد بعيد.

ونحن نعيش أيضا في نهاية عصر جليدي، وقريبين جدا، من الناحية الجيولوجية، من عصور بناء للجبال، وربما لم ينته بعد، فجبال الألب، والروكي، والهيمالايا، وغيرها من سلاسل الجبال التي بدأت في الارتفاع منذ ثلاثين مليونا من السنين، كل هذه الجبال لم تبل أو تندثر حتى الآن، فهي لا تزال حديثة. ويتفاوت ارتفاع اليابسة الآن بين مستوى سطح البحر وخمسة أميال ونصف ميل فوق هذا المستوى. وتسبب سلاسلنا الجبلية الضخمة إعاقة الدورة الهوائية حول الأرض، وتغير اتجاهها. وتؤدي هذه الاختلافات في الارتفاع إلى تعرضنا لحدود حرارية تتراوح بين٩٠ درجة وأكثر من ١٣٠ درجة، وحدود من الأمطار السنوية تتفاوت بين الصفر و٤٠٠ بوصة. غير أن هذه الاختلافات لا تخلو من فائدة، إذ أن الجبال تساعد ولا شك على إضفاء مزيد من التنوع والطرافة على العالم. كما أنها تزودنا بالمناظر الرائعة، ناهيك برياضة الانزلاق وتسلق الجبال. وفي أثناء الفترات الطويلة، التي كانت الجبال تتآكل فيها وتتحول إلى بقايا مبتورة، لم تكن تعرف مثل هذه التطرفات المناخية، وهذه الفترات، التي تقع بين عصور بناء الجبال، تكون الجزء الأكبر من تاريخ العالم.

وينبغي علينا الآن أن نبحث ما يحدث عندما يصل المطر إلى الأرض، فهناك ثلاثة احتمالات: أما أن يغوص في الأرض، أو ينحدر إلى أسفل إذا كان هناك أي انحدار ، أو يبقى حيث سقط. أما المطر الذي يغوص في

الأرض، فقد تتصيد جذور النبات جزءا منه، وترفعه إلى السوق، أو الثمار، أو الأوراق التي تبخر نسبة كبيرة منه. وقد يترك جزء آخر الأرض عن طريق ينبوع أو بئر، أو عن طريق التسرب إلى أحد الأنهار أو البحار. وقد يبقى الجزء الأخير تحت الأرض أجيالا.

أما المطر الذي يجري فوق سطح الأرض، فقد يعود إلى المحيط عن طريق الجداول والأنهار، وقد يتبخر جزء منهن، وقد يلحق الجزء الباقي بالمياه الجوفية. ومن المطر الذي يسقط على الأرض المستوية، كبركة أو بحيرة بلا مخرج، يتبخر جزء، ويغوص الجزء الآخر في التربة. وفي الظروف العادية، يتبخر نحو ثلث المقدار الكلي من الماء الذي يسقط على اليابسة، ويعود جزء من هذا الثلث إلى المحيط، كما جاء منه، عن طريق الهواء، ويسقط الجزء الآخر منه على اليابسة ثانية. أما الثلثان الباقيان فيعودان، كلهما تقريبا، إلى المحيط عن طريق الجداول والأنهار. وقد تستغرق هذه الرحلة بضع دقائق، أو بضعة شهور، أو ملايين السنين.

ويكتسب الماء بعض خصائص الأرض التي يسقط عليها ويشق طريقه فيها، كما تتحكم فيه هذه الخصائص، والدليل على ذلك تلك الجداول الصاعدة الهابطة والأنهار السريعة التي تجري وسط التلال والجبال، والبرك الساكنة الراكدة والمستنقعات، والأنهار البطيئة الموجودة في الأراضي المنبسطة. وتدل المناطق المغطاة جيدا بالغابات على وجود الينابيع النشطة دائما، وكذلك البحيرات والجداول الرائقة. أما التربة الخفيفة غير المغطاة فتدل على الفيضانات والأنهار المليئة بالطمي.

وسوف نرى في الباب الثاني من هذا الكتاب أن التحكم في الطريق الذي يسلكه الماء عقب سقوطه على الأرض إنما هو أمر حيوي لسعادتنا ورخائنا، كما أنه يدخل في نطاق قدراتنا إلى حد ما. ويمكن القول بصفة عامة أنه كلما زادت نسبلة الأمطار التي تدخل التربة، وكلما زادت سرعة دخولها هذا، كان أفضل بالنسبة إلى البيئة التي يحدث فيها ذلك ومن يسكنها من الناس.

على أن هناك شيئا واحدا مؤكدا: ألا وهو أن الماء الذي يسقط على الأرض يؤدي إلى تغيير هذه الأرض، فهو لا يكف عن إزالة المرتفعات وملء المنخفضات. وعندما يقوم بعمله في نجد أو سهل مرتفع، فإنه يشقه ويحوله إلى ما يطلق عليه الجيولوجيون اسم "السهل الأجرد" Peneplain. وتبدأ هذه العملية بأن تشق مجاري المياه السريعة وديانا عميقة ذات جوانب شديدة الانحدار. ثم يزاداد اتساع هذه الوديان تدريجيا، وتتأكل جوانبها، حتى تصبح منطقة من مناطق النهيرات البطيئة الجريان والأراضي البسيطة التعاريج والالتفاف. ومن بين الكميات الهائلة من الصخور والتربة التي تزال من منطقة كهذه، يصل جزء إلى المحيط، بينما يتساقط الجزء الأكبر طوال الطريق.

وهكذا يبدو الأمر كما لو كان الماء يسعى إلى إزالة جميع التضاريس الأرضية الوعرة وتسويتها. وعلى أنهم قد تأتي بعد ذلك فترة بناء للجبال، فيندفع قاع البحر إلى أعلى مسافة آلاف الأقدام. وتحكي لنا الأصداف وغيرها من الحفريات البحرية التي نعثر عليها في قمم الجبال قصة

الحيوانات التي كانت تعيش في الماء أثناء عملية ترسيب المواد فيه، كما تروي لنا شيئا عن النطاق الزمني الذي تكونت فيه الصخور. وتوضع الرواسب في طبقات مستوية إلى حد بعيد، ولكن يحدث في بعض الأحيان عندما ترتفع هذه الرواسب أن يؤدي الضغط الناتج عن تقلص القشرة الأرضية، أو عن أسباب أخرى، إلى اتخاذها شكلا محدودا كأنها قباب، وقد تتعرض هذه القباب أو الأقواس الصخرية إلى ضغط جانبي، فتنضغط وتنطوي حتى تكاد طبقاتها تصبح رأسية، وهو منظر لا بد أنك رأيته على جانب صخرة مجاورة للشاطيء أو نفق من أنفاق السكك الحديدية.

عل أن أروع قطعة من النحت المائي يمكن أن يقع عليها بصرك على الإطلاق هي "الغور الكبير" (جراند كانيون) لنهر الكلولورادو. فقد شق الماء في هذا الغور خلال الصخور الرسوبية التي يتكون أغلبها من الأحجار الرملية الملونة شقا غائرا طوله ثلاثمائة ميل وعمقه ميل. وبدأت هذه العملية بأن نقل الماء المواد التي كونت هذه الصخور ورسبها في أحد البحار القديمة. ثم ارتفع قاع هذا البحر فيما بعد وأصبح هضبة عالية. ولما كان الماء يسعى دائما إلى إيجاد مستوى أكثر انخفاضا لمجراه والعودة إلى البحر، فقد نحته الوادي والغور. وبواسطة المواد التي أزالها، يقوم الآن دلتا عند رأس خليج كاليفورنيا. وفي يوم ما، قد ترتفع هذه الدلتا لتصبح هضبة تشقها أنهار العصور القادمة، وتنحتها إلى تلال ووديان وأغوار، وهكذا نرى أن التاريخ الجيولوجي يعيد نفسه ولكن مع وجود عنصر الاختلاف والتنوع دائما. فالتلال ترتفع ثم تبلى وتندثر، أما الماء فيقوم بنفس العمل دائما ومنذ الأزل، فهو سيل طيني جارف يحمل الغرين وجميع أنواع المواد

العضوية ويسقطها في البحر. ثم تبخره طاقة الشمس البعيدة مرة أخرى، وتحمله الرياح، خفيفا نقيا، وتعيده إلى الأرض كي يواصل الدورة التي لم تتوقف إطلاقا خلال بليونين من السنين. حقا إن الماء نحات الطبيعة الأزلي، ومحرك الجبال، ومجدد الحياة.

وحيثما تهطل الأمطار بغزارة، وتوجد التربة والدفء المناسب، تنمو الغابات الكثيفة، وحيثما يتراوح سقوط الامطار بين ٢٥ و ١٥ بوصة، توجد المراعي والأشجار المتاخمة لمجاري المياه. أما عندما تقل الأمطار عن ١٥ بوصة، فتنمو النباتات الصحراوية، مثل: الصبار، والمريمية "السجبروش"[٥٩] Sagebrush، وشجيرة الشوك thorn bush والنباتات الصحراوية متخصصة في الحياة بقليل من الماء، فهي تختزن الماء عندما يكون متوافرا، لتستهلكه في الفترات الطويلة التي ينعدم فيها. وهي جميعا نباتات صغيرة وتحيا حياة صعبة، إذ أنه لا يتعين عليها فقط أن تحتفظ بحياتها مكتفية بأقل قدر ممكن من الماء، وهو أولى ضرورات الحياة جميعا، بل أنها تتعرض أيضا لتفاوتات حرارية كبيرة بين الليل والنهار.

وكما رأينا من قبل، فإن بخار الماء الموجود في الهواء يكون بمثابة غطاء للأرض، يدرأ عنها بعض حرارة الشمس، ويحتفظ بأغلب الحرارة المنعكسة منها. غير أن هذا الغطاء يكون رقيقا جدا فوق الصحراء، وذلك بسبب

---

(٥٩) السجبروش Artemisia tridentate، شجيرات قصيرة دائمة الخضرة تغطي آلاف الأميال المربعة من الأراضي القلوية الجدباء في الولايات المتحدة، خاصة في ولايتي نيفادا ويوتا.
(المترجم)

جفاف الهواء هناك وقد لوحظت في الصحراء درجات من الحرارة وصلت بالنهار إلى ١٢٥ درجة، ثم انخفضت في الليلة التالية إلى ما دون درجة التجمد.

وعندما تكون الأرض مغطاة بالغابات، أو الحشائش الكثيفة، أو الأدغال، يكون التآكل الذي تتعرض له بطيئا، وتكون أنهارها عميقة وصافية. ويرجع ذلك إلى أن هذه النباتات الكثيفة تقي الأرض وتحميها من اصطدام الأمطار، كما أن الجذور الموجود بها يمتص الماء ويحتفظ به، مما يؤدي إلى تصرف الماء منها تدريجيا. وعندما تجتث الغابات من هذه الأرض، وتعد للزراعة أو تزال أعشابها أكثر مما ينبغي، يزداد تآكلها وتصرف الماء منها بشكل كبير. فترتفع المياه في أنهارها، التي تفيض وتغمر الضفاف. ثم تقوم هذه الأنهار بتمزيق الأرض وتفتيتها، وتبتعد حاملة معها كميات هائلة من المواد التي غنمتها من التربة والسطح. وتختلف قدرة الماء على نقل المواد تبعا لمربع سرعته. أي أن التيار المائي الذي تبلغ سرعته ستة أميال في الساعة يحمل نفس المواد مسافة تبعد أربعة أضعاف المسافة التي يحملها إليها تيار آخر سرعته ثلاثة أميال في الساعة.

كذلك تؤثر طبيعة المواد المحمولة ووزنها على هذه القدرة بمعنى أنه كلما ازدادت هذه المواد دقة وتجزيئا، ازدادات المسافة التي تنقل إليها. فقطع الصخور الصغيرة قد تنقل مسافات قصيرة، والحصى أبعد، والرمال ربما إلى مسافة مائة ميل، أما الغرين والطمي فينقلان مسافة أبعد من الجميع. وتجرف كميات هائلة من قطع الفحم الصغيرة وغبار الفحم داخل

نهر "سسكويهانا" Susquehanna في مناطق الفحم الجاف "ببنسلفانيا". ويترسب هذا الفحم خلف السدود المائية والعروق الصخرية طوال الطريق إلى مصب النهر، ويبلغ نحو ثلاثمائة ميل، على أن آلاف الأطنان من هذا الفحم النهري تستعاد بواسطة الكراكات وتحرق كل عام، والواقع أن ٥٠.٠٠٠ طنا قد انتشلت من أحد المواضع في سنة واحدة، وأخرقت لإنتاج الطاقة.

وتسقط الأنهار مقدارا ضخما من الغرين عند مصابها أو بالقرب منها، حيث ينتشر إلى الخارج على هيئة دلتا، وهي نوع من المثلثات يشبه حرف "الدال"Δ في اللغة اليونانية. ويقوم الغرين الذي يرسب في المناطق التي يغمرها الفيضان خارج مجرى النهر بتعلية الأرض تدريجيا. وهكذا تصبح الأنهار أكثر ضحالة، وأقل قدرة على نقل فيضاناتها إلى مسافات بعيدة. بل أننا نجد حتى في بلدنا [٦٠] الحديث العهد، أن كثيرا من الموانئ التي كانت تستقبل السفن الشراعية الضخمة أيام الاستعمار قد امتلأت تماما وأن العشب ينمو حيث كانت السفن ترسو في وقت ما. وفي أوروبا أصبحت المدن التي كانت ذات يوم موانئ رائجة تبعد الآن أميالا عن البحر.

وربما كانت أروع قطعة للبناء الأرضي حدثت في الأزمنة التاريخية هي تلك التي قام بها نهر الدجلة والفرات في العراق؛ ففي العصر البابلي

---

(٦٠) نذكر القارئ بأن المؤلف أمريكي.
(المترجم)

القديم، كانت مدينة "أور" الكلدانية، التي يقال أن إبراهيم الخليل قد هاجر منها، ميناء بحريا، أما الآن فهي تبعد عن البحر مسافة مائة وخمسين ميلا. وفي نفس الوقت، قام النيل بدفع خط الساحل المصري مسافة مائة ميل داخل البحر المتوسط.

والواقع أن الحديث عن الأنهار موضوع شيق خلاب لا يعادله في ذلك موضوع آخر، فالأنهار تختلف اختلافا بينا بعضها عن البعض، وكذلك الحال في أجزائها العديدة. وإنه لشيء ممتع حقا أن تتتبع، في الحقيقة أو الخيال. نهرا من منبعه في ينبوع جبلي أو بحيرة ما. وتسير معه عبر ألفي ميل مثلا من المناظر المتغيرة حتي يصب في المحيط. وهذا موضوع لا ينضب له معين، وهو أكبر كثيرا من أن نتناوله في هذا الكتاب الصغير. على أن الأنهار من الأهمية بحيث لا يمكن لمن يكتب عن الماء أن يتجاهلها كلية، وقد يكون من الطريف أن نذكر عنها قليلا من الوقائع. وأولى هذه الوقائع هي أن المرء قد يتوقع أن آسيا، بوصفها أكبر القارات، هي التي تضم أطول الأنهار. ولكن هذا ليس صحيحا: إذ أن أطول ثلاثة أنهار في العالم توجد في قارات أخرى؛ فالنيل، الذي يبلغ طول مجراه أربعة آلاف ميل، هو أطول الأنهار. ثم يأتي بعد ذلك نهر المسيسيبي، ميسوري والأمازون، ويتجاوز طول كل منهما ثلاثة آلاف وتسعمائة ميل. أما أطول أنهار آسيا، فهو نهر متواضع يأتي في المرتبة الرابعة [٦١].

([٦١]) هو نهر يانجتسي الصيني، ويبلغ طوله الكلي نحو ٣٥٠٠ ميلا.
(المترجم)

ويحمل الأمازون، الذي ينساب من المنطقة التي تنشق فيها جبال الأنديز بالقرب من المحيط الهادي حتى يصب في المحيط الأطلنطي، كمية من الماء أكبر مما يحملها أي نهر آخر. كما أنه أوسع وأصلح للملاحة خلال مسافة أطول من أي نهر آخر. وتبلغ مساحة الأراضي التي تنصرف مياهها في هذا النهر، وهي أكبر من مثيلتها في أي نهر آخر، ٢.٧٢٢.٠٠٠ ميل مربع، وهي تغطي خمسي مساحة أمريكا الجنوبية كلها، وتساوي تسعة أعشار مساحة الولايات المتحدة. وتستطيع السفن من عابرات المحيط أن تتوغل في الأمازون مسافة ٢٣٠٠ ميل، أما السفن التي يبلغ غاطسها أربعة عشر قدما فتستطيع التوغل مسافة أبعد من هذه بمقدار ٤٨٦ ميلا. وفي كل عام، يرتفع نهر الأمازون أثناء موسم الأمطار، ويفيض على أراض تبلغ مساحتها عدة مئات الألوف من الأميال المربعة. ويبلغ اتساع مصب هذا النهر ٢٠٧ ميلا، ومع ذلك فهو يتشعب ويحيط بجزيرة في حجم الدانمارك وعلى الرغم من أن الأمازون يجلب إلى مصبه كمية من الغرين أكبر مما يجلبها أي نهر آخر، فإنه لم يبن لنفسه دلتا وراء خط الساحل العادي. وترجع هذه الحالة غير العادية إلى وجود تيارات محيطية قوية في المكان الذي يصب فيه النهر. ويمكن اقتفاء أثر المياة العذبة المحملة بالطمي التي يصبها الأمازون في البحر إلى مسافة تبلغ مائتي ميل.

يمثل نهر "الكنج" [٦٢] Ganges، بصورة متطرفة، أنموذجا لكثير من الأنهار في التباين بين منبعه ومصبه؛ فهو ينبع من كهف جليدي يربض عند سفح حقل ثلجي في جبال الهيمالايا على ارتفاع ١٠.٣٠٠ قدم فوق سطح البحر. وينحدر في الجزء الأول من مجراه انحدارا سريعا هادرا متجها من الجبال إلى السهول. وهو ينساب مسافة قدرها ١٥٠٠ ميلا، يلتقي خلالها كثير من الروافد. على أنه يعطي مثلما يأخذ، إذ أن مياهه تروي مليونا ونصف المليون من الأفدنة تقريبا عن طريق نوات رئيسية طولها ٥٦٨ ميلا. أما الجزء الأخير من مجراه فهو على درجة من البطء تماثل درجة السرعة التي كانت عليها روافده الأولى: إذ يبلغ متوسط انحداره من "الله أباد" حتى "بناريس" ست بوصات فقط في كل ميل، ومن "بناريس" حتى "كلكتا" التي تبعد ٩٠ ميلا عن البحر، يبلغ هذا الانحدار أربع بوصات ونصف البوصة في كل ميل، أما بعد كلكتا، فيتراوح بين بوصة وبوصتين. وقد بنى هذا النهر دلتا كبيرة تبدأ على بعد ٣٠٠ ميل من المصبات العديدة التي يصب خلالها في خليج البنغال الدافئ.

ويمكننا أن نلخص في عبارة واحدة الطريق الذي تسلكه الأنهار الكبيرة بصفة عامة بقولنا: "من الجبل إلى البحر، مع ازديادها اتساعا طوال الطريق"، ولكن هناك استثناء مهما لهذه القاعدة، هو النيل الذي ينساب عبر الصحراء خلال الألف ميل الأخيرة من مجراه فلا يتلقى أية روافد.

---

(٦٢) يخترق هذا النهر الجزء الشمالي من الهند والجزء الشرقي من الباكستان. وهو أكثر أنهار الهند قداسة خاصة في الله أباد وبناريس، حيث تكثر فيهما أماكن الاستحمام المقدسة.
(المترجم)

فهو ينكمش بإطراد من الخرطوم حتى البحر، بسبب ما يفقده من الماء عن طريق التبخر السريع الذي يتعرض له في أرض حارة عديمة الأمطار، وعن طريق استنزاف كمية كبيرة من الماء منه لأغراض الري.

أما البحيرات، التي لا أستطيع أن أخصص لها سوى بضع فقرات، فتستحق أن يفرد لها وحدها كتابا واحدا على الأقل، إذ أن تنوعها وتباينها لا يكاد يقف عند حد. فمن ناحية الحجم، يمكن أن تكون البحيرة أي شيء ابتداء من بركة متوسطة لصيد الأسماك حتى بحر داخلي مثل بحيرة سوبيريور أو بحيرة فيكتوريا. وقد تكون البحيرة عذبة، وهي في العادة كذلك، غير أن بعض البحيرات، مثل بحيرة "جريت سولت" (أي بحيرة الملح الكبرى) التي توجد في ولاية "يوتا" الأمريكية تزداد ملحيتها كثيرا عن ملحية المحيط. وبينما تعج كثير من البحيرات بالحياة المائية، فإن البحر الميت، وهو بحيرة في الواقع، لا يحوي أية كائنات حية. وسواء أكانت البحيرات باردة أو ساخنة، عميقة أو ضحلة، فهي طريقة دائما، جميلة عادة.

ولم يكن الجغرافيون متسقين مع أنفسهم تماما في تسمية البحيرات والبحار. فهناك بحر الجليل، والبحر الميت، وبحر الأرال، وبحر قزوين. والأولان صغيران، أما الأخيران فهما جسمان مائيان كبيران جدا. والاول له مخرج، أما الثلاثة الأخيرة فليس لها. والأول ماؤه عذب، بينما ماء الآخرين مالح تقريبا. أما الصفة الوحيدة المشتركة بينهم جميعا فهي أن ماءهم لا ينساب في المحيط. وليس لبحيرة "جريت سولت"، وكذلك لعدد

من البحيرات الأخرى، أية مخارج. ولا يمكن أن يتخذ الحجم أساسا للتمييز بين البحيرات والبحار، إذ أن بحيرة سوبيريور وبحيرة فيكتوريا أكبر من البحرين الميت والأرال.

وعندما يفقد جسم مائي كمية من الماء عن طريق البخر أكبر مما يتلقاها، فإن سطحه يهبط حتى يفقد أي اتصال كان بينه وبين المحيط، ويستمر هذا الهبوط حتى تقل مساحته إلى النقطة التي يحدث فيها توازن بين الماء الذي يتلقاه والماء الذي يفقده بالبخر. وتتفاوت هذه النقطة، بالطبع، من سنة إلى أخرى تبعا لزيادة سقوط المطر أو نقصه. فبحر قزوين، وبحر الأرال، وبحيرة "جريت سولت"، وهي – بحسب تربيتها – أكبر الأجسام المائية التي ليس لها مخارج، أصغر الآن كثيرا مما كانت عليه في وقت ما، والدليل على ذلك أن خطوط الساحل القديمة وكذلك الشواطيء التي نحتتها الأمواج، تعلو الآن كثيرا فوق السطح الحالي لهذه الأجسام المائية.

كذلك كانت بحيرة "بونفيل" التي وجدت في الأزمنة قبل التاريخية، تقترب في حجمها من حجم بحيرة "ميشيجان" الحالية، أما بحيرة "جريت سولت" التي ما زالت تنكمش وتضمر، فهي بقية ضئيلة لبحيرة "بونفيل"، لا تكاد تبلغ جزءا من أربعة عشر جزءًا من حجمها الأصلي. كل هذا يعني على الأرجح أن سقوط الأمطار كان – في بعض أجزاء الأرض أثناء أحدث العصور الجليدية – أغزر كثيرا مما هو عليه الآن.

وتؤلف البحيرات عادة جزءًا من المجاميع النهرية؛ فهي قد تكون مصبا للأنهار دون أن يكون لها مخارج، مثل بحيرة "جريت سولت"، أو قد تكون منبعا للأنهار. كما أنها قد تكون مناطق متضخمة من الأنهار، مثل بحيرة "سانت بيتر" في نهر "سانت لورانس"، كذلك قد تكون مصبا لبعض الأنهار ومنبعا لأنهار أخرى، مثل أية بحيرة من البحيرات العظمي [٦٣].

وها هي ذي بضعة أسئلة في الجغرافيا نسردها عليك كي تحاول اختبار أصدقاءك بها. وسوف تجد إجاباتها في نهاية هذا الفصل.

١. ما هو أكثر الأجسام المائية انخفاضا في العالم؟

٢. ما هو أعلى الأجسام المائية في العالم؟

٣. ما هو النهر الذي ينبع على بعد ١٢٥ ميلا من الأطلنطي، وينساب مسافة ٢٦٠٠ ميل، ثم يصب في الأطلنطي؟

٤. ما هو الجسم المائي الكبير جدا، الذي يتجاوز طوله الف ميل وتكاد الارض تحيطه من كل جانب، ولا تصب فيه أية أنهار أيا كان حجمها؟

٥. ما هو أكبر جسم مائي في العالم ليس له مخرج؟

---

(٦٣) مجموعة من البحيرات العذبة توجد في الجزء الشمالي من الولايات المتحدة الأمريكية. وتضم بحيرات: سوبيريور، وميشيجان، وهورون، وأيري، وأنتاريو.
(المترجم)

٦. ما هو أعمق بحيرة في العالم؟

٧. ما هي أكبر بحيرة في العالم؟

الماء داخل الأرض:

هناك جسم مائي ضخم لا نراه، ولكنه على جانب كبير جدا من الأهمية بالنسبة إلى جميع أشكال الحياة، ذلك هو الماء الأرضي أو الجوفي الذي يشمل جميع المياه من وقت هبوطها تحت سطح الأرض حتى ظهورها منه. والواقع أنه لولا الماء الجوفي لما وجدت حياة على اليابسة، باستثناء تلك التي تنمو في البحيرات ومجاري المياه، أو تتغذى عليها. وتحصل جميع النباتات الأرضية، باستثناء المتطفل منها "كالدابوق" [٦٤] على حاجتها من الماء عن طريق الجذور. ولا تقتصر حاجتها هذه على الماء الموجود فحسب، بل لا بد لها من الحصول على ما إذا به الماء من مركبات التربة التي لا تستطيع النمو بدونها. صحيح أنك تستطيع زرع الخضروات وغيرها من النباتات الارضية عن طريق إتاحة الفرصة لجذورها كي تنمو في حوض من الماء بدلا من التربة، ولكن يتعين عليك في هذه الحالة أن تضع في الماء تلك المواد الكيميائية التي لا بد للنباتات أن تحصل عليها عن طريق جذورها، أي أن تهيء لها وسطا يعادل والماء الأرضي.

([٦٤]) انظر الهامس المكتوب في ص ٢٦
(المترجم)

والماء لا يقوم بكل عمله فوق سطح الأرض فحسب، فهو يهبط تحت هذا السطح ويتوغل في التربة، ويتنقل، حيثما توجد صخور خلال الشقوق والصدوع، وهو يقوم بمساعدة ثاني أكسيد الكربون الذي يلتقطه من الجو ويحمله على هيئة محلول بإذابة الأحجار الجيرية وإنشاء الكهوف التي تتدلى منها رواسب "الاستلاكتيت"[٦٥] Stalactites، والتي قد تمتد عدة أميال.. وفي بعض الأحيان يؤدي التآكل إلى إزالة الصخور التي تغطي أحد هذه الأنفاق تحت الأرضية، تاركا جزءا من السقف المكون من صخور أكثر صلابة ليكون جسرا طبيعيا.

وعندما يصادف الماء الأرضي طبقات من الصخر أو الطين الأصم لا يمكنه النفاذ منها، فإنه ينتشر أفقيا حتى يجد له مخرجا. وفي بعض الأحيان ينساب هذا الماء تحت طبقة غير منفذة ولا يستطيع الصعود خلالها، ولما كان الماء ينساب دائما إلى أسفل، وقد يصل في انسيابه هذا إلى مسافات بعيدة، فإنه قد يصل إلى مستوى أكثر انخفاضا بكثير من النقطة التي بلغها تحت الطبقة غير المنفذة، فيتعرض بذلك لضغط يكفي

---

(٦٥) رواسب صلبة من كربونات الكالسيوم تتدلى من سقوف الكهوف الجيرية. ويمكن تلخيص طريقة تكوينها كالآتي: عندما تتساقط قطرات الماء المشبعة بالجير من سقف الكهف، تتبخر جزئيا وتفقد ثاني أكسيد الكربون الذائب فيها، مما يؤدي إلى ترسب كمية الكربونات الزائدة حول حوافها. وبتكرار هذه العملية ينمو هذا الراسب، وتتكون منه كتل طويلة معلقة. وغالبا ما يصاحب هذه الرواسب رواسب أخرى تعرف بالأستلاجميت Stalagmites، وهذه تتكون بنفس الطريقة السابقة، ولكن من قطرات الماء الساقطة على أرضية الكهف. ورواسب الأستلاجميت تكون على هيئة أعمدة تنتصب من الأرض وغالبا ما تتصل برواسب الاستلاكتيت المتدلية من السقف.

(المترجم)

لرفعه إلى السطح أو أعلى منه، وذلك إذا ما حفرت بئر خلال الطبقات الموجودة فوقه.

وتعرف هذه الآبار "بالارتوازية"، ويمكن أن يتدفق منها الماء بمقدار عدة جالونات في الدقيقة. وسوف يجد القاريء مزيدا من المعلومات عن هذه الآبار في الفصل الثامن من الباب الثاني، حيث سنتناول موضوع المحافظة على الماء الجوفي.

وأغلب المياه الجوفية تترك الأرض عن طريق الينابيع، أو عن طريق التسرب إلى مجاري الأنهار، وتتفاوت هذه الينابيع بين أبسط المسارب وبين الجداول الضخمة التي تنبع من المسالك والشقوق الموجودة في التكوينات الجيرية بفلوريدا ومناطق كثيرة أخرى. وحتى وقت قريب، كان أحد الينابيع أو الجداول التي تنبع من أحد التكوينات الجيرية يمد مدينة "رونوك" Roanke بولاية فيرجينيا، بكل حاجتها من الماء. وهناك ينابيع في فلوريدا تبلغ مجاريها حدا من الضخامة يمكن معه أن يطلق عليها – بحق – اسم الأنهار. وليست كل الينابيع تتفجر فوق اليابسة، إذ أن بعض المجاري من المياه الجوفية العذبة تتفجر وراء الخطوط الساحلية على هيئة ينابيع مغمورة تحت سطح البحر.

وليس هناك من يعرف مقدار الماء الموجود داخل الأرض، ولكن من المؤكد أنه مقدار هائل. ويعتقد أحد الكتاب أنه يكفي لتغطية سطح

اليابسة على الكرة الأرضية حتى عمق ٣٠٠٠ قدم، ولكن يبدو أن هذا التقدير غير المدعم مبالغ فيه كثيرا.

ويعرف الخط الذي تكون التربة مشبعة تحته "بمستوى الماء الأرضي أو الجوفي" أو "خط التشبع". ويقدر عادة بعدد من الأقدام تحت السطح، وحيثما تكون الأمطار غزيرة، وتكون هناك طبقة غير منفذة تحت منطقة كبيرة من الأرض – خاصة لو كانت هذه المنطقة على شكل حوض – فإن مستوى الماء الأرضي قد يقع على بعد بضعة أقدام من السطح. أما حيثما يكون المطر شحيحا، أو حيث لا توجد طبقة غير منفذة، فقد يقع هذا المستوى تحت ذلك بكثير.

وقد تمسك التربة فيما بين السطح ومستوى الماء الأرضي، بقدر كبير من الماء بفعل الخاصية الشعرية. وقد تصبح هذه المنطقة مشبعة تقريبا عقب إحدى نوبات الأمطار الغزيرة، بينما قد تصبح جافة جدا أثناء إحدى نوبات الجفاف الطويلة. وتحصل جذور أغلب النباتات من هذه المنطقة على الماء اللازم لحياتها.. وفي البلاد القحلة تنمو لبعض النباتات جذور طويلة جدا في صراعها من أجل الحصول على الماء. وقد عرفت جذور تصل إلى عمق ستين قدما. وعندما يكون المطر شحيحا، وتكون هناك فترات طويلة من القحط والجفاف، يهبط مستوى الماء الجوفي، وتجف الينابيع والآبار، وتتوقف المحاصيل عن النمو.

والماء الجوفي الذي يتدفق في الينابيع والآبار يكون خاليا في العادة من المواد المعلقة، وذلك عن طريق الترشيح خلال التربة، ولكنه قد يكون محملا بالمواد المعدنية الذائبة. وتفجر الينابيع مياها بها جميع أنواع المواد الذائبة ولكن هذه المياه تكاد دائما في صفاء البلور.

وهناك ينابيع حارة في أجزاء كثيرة من الأرض وحيثما يوجد ينبوع حار، تكون المياه قد صعدت إليه من أعماق كبيرة، أو تكون هناك مواد ساخنة بالقرب من السطح. وفي بعض الأحيان يجتمع الأمران معا، وإن كانت الأولى هي الشائعة، وفيها تهبط المياه الجوفية خلال الوصلات أو الشقوق الرأسية أو المائلة، أو خلال الطبقات المسامية، حت تصل إلى طبقة عميقة من الصخور الساخنة. وبعد أن تسخن تصعد خلال شقوق أو وصلات أخرى، ثم تتفجر في نقطة تقع في مستوى أكثر انخفاضا إلى حد ما من النقطة التي بدأت هبوطها منها.

ولما كانت قدرة الماء على إذابة المواد والاحتفاظ بها في المحلول تزداد بازدياد درجة الحرارة، فإن مياه الينابيع الحارة والفوارة تحمل عادة كمية كبيرة من المواد المعدنية الذائبة. وعندما تتصل هذه المياه بالهواء وتبرد، فإنها لا تستطيع – في كثير من الأحيان – الاحتفاظ بكل هذه المواد. ولذلك فإنها ترسب كل ما تعجزه عن حمله منها مع انخفاض حرارتها، مما يؤدي إلى تكوين الأحواض والمصاطب الجميلة المكونة من الأحجار الملونة التي كثيرا ما توجد حول الينابيع الحارة.

وتوجد الينابيع الفوارة في المناطق التي تعرضت حديثا لنشاط بركاني وأشهرها ما يوجد في منطقة حدائق "يلوستون"[٦٦] Yellowstone Park وأيسلندا، ونيوزيلندا. وتنتج هذه الينابيع بفعل تكوينات صخرية تؤدي إلى تجمع الماء في غرف مغلقة، وامتصاصه للحرارة من الصخور. وترتفع هذه الحرارة حتى يتكون البخار، ويصبح الماء أخف بالتمدد. وعندما يصل ضغط البخار إلى درجة كافية، يقوم برفع غطاء الماء بقوة انفجارية، ويندفع عمود من البخار والماء الساخن إلى أعلى خلال عنق الينبوع، ثم يرتفع عاليا في الهواء.

ويوجد بمنطقة حدائق "يلوستون" ثلاثة آلاف من الينابيع الحارة ومائة من الينابيع الفوارة، يقذف بعضها الماء إلى ارتفاع ٢٥٠ قدما. وبعض هذه الينابيع غير منتظم إلى حد بعيد، على أن بعضها الآخر، مثل الينبوع المعروف باسم "أولد فيثفول" Old Faithful (أي المخلص القديم)، يمكن الوثوق منه إلى حد بعيد إذ يقوم بنشاطه على فترات منتظمة، ويصل ثورانه إلى ارتفاع ثابت.

وها هي ذي إجابات الأسئلة التي ورد ذكرها من قبل في هذا الفصل:

---

(٦٦) توجد منطقة "يلوستون بارك" في ولاية ويومنج Wyoming الأمريكية، ويمتد جزء منها في ولايتي مونتانا وإيداهو. تبلغ مساحتها ٣٤٥٨ ميلا مربعا، وتشتهر بالينابيع الحارة، والأنفاق الغائرة، ومساقط المياه، والغابات المتحجرة، والحياة الحيوانية والنباتية الفطرية.

١. البحر الميت في فلسطين، وينخفض سطحه بمقدار ١٣٠٠ قدم عن مستوى سطح البحر.

٢. بحيرة "تيتكاكا" Titicaca، والواقعة في جبال الأنديز على الحدود الفاصلة بين بيرو وبوليفيا، يبلغ ارتفاعها ١٢.٢٠٠ قدما فوق سطح البحر.

٣. نهر النيجر، الذي ينبع في غينيا بالقرب من مدينة "سيراليون"، ثم ينحني في قوس كبير عبر إفريقيا الفرنسية الغربية، وأخيرا يصب في خليج غينيا، على بعد ٢٦٠٠ ميل من منبعه.

٤. البحر الأحمر، فهذا الجسم المائي الضخم تحيطه الصحارى.

٥. بحر قزوين – مساحته ١٦٣.٨٠٠ ميلا مربعا.

٦. بحيرة "بيكال" Baikal ، في سيبيريا، عمقها ٥٧١٥٢ قدما.

٧. بحيرة سوبيريور، مساحتها ٣١.٨٢٠ ميلا مربعا.

الفصل الثامن

الماء الصلب فوق اليابسة

بعض الماء الذي يسقط على الأرض يصل إليها في الحالة الصلبة على هيئة ثلج وبرد، ومن حسن حظ البشرية أن أغلب هذا الماء يكون ثلجا. وفي المناطق القطبية، والقريبة من القطبية، وفوق الجبال العالية، يكون الثلج جزءا كبيرا من كمية الأمطار السنوية، بنيما يسقط في المناطق الأخرى في الشتاء غالبا. أما البرد فيجمع بين نقيضين: التجمد والسقوط صيفا.

ويرجع سقوط الثلج إلى نفس أسباب سقوط المطر، أي إلى تكون السحب نتيجة خفض حرارة الهواء المحمل ببخار الماء إلى درجة أقل من نقطة الندى (السيولة) فيه. ثم يتكون الثلج إذا كانت الظروف مواتية، وبردت هذه السحب إلى درجة أقل من نقطة تجمد الماء.

وقد استطاعت الحيوانات في أقصى الشمال والجنوب – حيث يغطي الثلج كل شيء طوال جزء كبير من السنة – أن تتكيف مع هذه الحالة، فالأرنب ذو الحذاء الثلجي Snowshoe rabbit قد بسط أقدامه حتى لا يغوص في الثلج. والدب القطبي يكتسي بحساء أبيض يخفيه عن الأنظار عندما يتسلل بحذر وراء عجل من عجول البحر، ويمكن القول أن

الدب يستخدم التضليل اللوني في هذه الحالة لأغراض هجومية، أما الطرمجان [٦٧] والأرنب فيكتسيان بالبياض في الشتاء لأغراض دفاعية. وسواء أكان الحيوان قانصا أو مقتنصا، فإن من الخطر عليه أن يظهر متميزا بوضوح عن الوسط المحيط به، إذا كان الوسط أبيض كله.

ولا يزال ما يراه رجل الإسكيمو، خلال شتائه الطويل المظلم، من الماء السائل العذب عما يراه ساكنا المناطق المدارية من الجليد. وهو كالمسافر في الصحراء أو الملاح الذي يجوب المحيط، لا تزود الطبيعة بيئته بالماء السائل الصالح للشرب. ولكنه يستطيع، على العكس من هؤلاء، إشباع حاجته من الماء عن طريق التهام الثلج، أو إسالته فوق مصباحه الزيتي. ولكن لنا أن نعتقد أنه يكتفي بكمية من الماء أقل من الكمية اللازمة للشخص في أي جنس آخر من الأجناس فالماء الذي يفقده عن طريق العرق أقل ما يمكن أن يفقد، وهو لا يكاد يستخدم شيئا منه في الطهي، بل وأقل من ذلك على الأرجح في الاغتسال والاستحمام.

وقد يكون الثلج عدوا للإنسان عندما يتساقط على هيئة عاصفة ثلجية، فيسد الطرق والشوارع، وخطوط السكك الحديدية، ويعزل المزارع، كما أن الخوف من الانهيارات الثلجية التي تعرف بالتيار (الهيارات الثلجية) avalanches، يؤدي إلى بقاء بعض الوديان الجبلية الجميلة غير مسكونة، فعندما يتساقط الثلج بغزارة في جو ساكن، تتجمع كتل الثلج

---

(٦٧) طائر من نوع القطا، يقطن المناطق القطبية وشبه القطبية من نصف الكرة الشمالية. وهو مثل ممتاز لظاهرة التلوين الوقائي، إذ أنه يغير لونه بما يتلاءم تماما وبيئته. (المترجم)

فوق المنحدرات الوعرة التي كان يمكن ألا يتجمع فوقها شيء لو كانت هناك رياح. ثم تتخلخل هذه الكتل تحت ثقل وزنها أو بفعل حرارة الشمس، وتبدأ في الانزلاق أو التدحرج على جانب الجبل، مكتسحة في طريقها الصخور، والأشجار، والمساكن، وأي شيء يضعه سوء حظه في طريقها. وقد وصل عدد الناس الذين أودى بهم انهيار ثلجي واحد إلى أربعة وستين شخصا، كما أدى إلى تدمير قرى بأكملها.

وقد يكون الثلج نعمة أو نقمة، فالثلج الذي يتراكم إلى أعماق كبيرة فوق الجبال كل شتاء يكون بمثابة خزانات ضخمة للمياه. فهو يغذي – عندما يذوب في الربيع والصيف – المجاري المائية والأنهار التي تروي الوديان والسهول. والثلج أيضا يقوم بدور المادة العازلة، إذ أنه يغطي سطح الأرض، ويمنع توغل الصقيع فيها إلى أعماق كبيرة، ويقيها تأثيره العنيف. وللثلج مقدرة كبيرة على إضفاء الجمال على الطبيعة، وهي صفة يفتقر إليها البرد.

وإلى جانب الماء الصلب الذي يسقط من الهواء، يغطي الجليد الأنهار والبحيرات، وهذا أيضا له جانباه الضار والنافع. ففي كل شتاء، تغلق الطرق المائية، في جزء كبير من العالم، في وجه التجارة. وفي كل ربيع، يؤدي انطلاق الجليد إلى تدمير بعض الجسور والقناطر، وإحداث سدود تحجز مياه الأنهار خلفها، وتجعها تفيض على الأراضي الواطئة وتسبب أضرارا كبيرة. ومن الناحية الأخرى فإن الجليد الذي كان الإنسان يستمده من البحيرات والمجاري المائية، أتاح له حفظ طعامه وتبريد شايه طوال

آلاف السنين التي لم يكن الإنسان يعرف فيها شيئا عن التبريد الاصطناعي. وبوسعي أن أتذكر الوقت الذي كان لكل مزرعة فيه بيت لاختزان الثلج، وكان الثلج إحدى السلع المهمة التي كانت تصدر من ولاية "مين" Maine إلى المدن الواقعة جنوبها على ساحلنا الشرقي.

وتنطبق الحكمة القائلة أن التكرف شر، وأن خير الأمور الوسط، على المناخ وتأثيره على الماء، مثلما تنطبق على كل شيء آخر تقريبا. فسكان المناطق المدارية يفتقدون شيئا ضروريا للحياة المكتملة، إذ لا يرون الثلج أو الجليد الطبيعي على الإطلاق، إلا من كان منهم يسكن مرتفعات شاهقة، كما أن الإسكيمو – من الناحية الأخرى – يرون من هاتين المادتين أكثر بكثير مما يلزم لجعل الحياة هانئة.

أما سكان المناطق المعتدلة فينبغي عليهم أن يشكروا القدر الذي وضعهم هناك، ذلك لأن جميع النباتات الغزيرة والنسائم العطرية التي تتميز بها أحب الجزر المدارية إلى الناس، لا تضارع مناخ المناطق الواقعة في خطوط عرض أعلى من هذه، وهو المناخ الأشد قسوة الذي يجعل هؤلاء السكان يعرفون أحوال الماء الثلاثة معا. فبالماء يعرف تغير الفصول، ويزداد ظهورا في الأماكن التي توجد بها فصول تتغير. فجمال المجاري المائية التي يكتنفها الجليد، والحقول التي يغطيها الثلج، صفة مميزة للشتاء.

أما المجاري المائية المتدفقة، والعصارة النباتية الصاعدة – وهما معا ماء – فهي في مجموعها علامة مميزة لرجوع خضرة الربيع. وفي الصيف نجد

العواصف الرعدية ونمو الحقول والغابات، وهو من عمل الحرارة والماء. أما في الخريف، فيأتي المحصول الذي أنتجه الماء، كما يرجع الماء من أوراق الأشجار حين تجف، فتكتسي التلال والسهول بألوان سحرية، وتظهر الأشكال التي يرسمها الصقيع على النجيل وزجاج النوافذ[٦٨].

الثلاجات وأثرها في الأرض والحياة:

لو أن الفلكي الخالد الذي تخيلناه في الفصل الرابع قد لاحظ الأرض لعدة مئات الملايين من السنين، لكان قد سجل على الأرجح فترات استمرت عدة ملايين من السنين كانت الأرض فيها خالية من القمم القطبية البيضاء، أو كانت فيها قمم صغيرة جدا. وربما كانت هناك أوقات كان البياض يظهر فيها حول أحد القطبين فقط في المرة الواحدة، وذلك عندما كان الشتاء ينتقل من الشمال إلى الجنوب وبالعكس. أما إذا راقب هذا الفلكي الأرض اليوم، لشاهد حول كل قطب من القطبين قمة أو غطاء دائما، ينكمش أو يتمدد مع تغير الفصول، ولكنه سيسجل هذه الظاهرة على أنها حالة غير عادية مؤقتة. وسوف يستنتج – على فرض أنه يفهم سبب سلوك الماء هذا – أن الأرض في حالة خروج من أحد عصورها الجليدية النادرة، ثم يكتب ملحوظة يذكر فيها نفسه بأن يقوم بملاحظات كل ألف سنة ليرى مدى تقدم عملية الخروج هذه.

---

(٦٨) ينبغي أن يلاحظ القارئ أن هذه الأوصاف الفصلية تنتمي إلى المناخ الأمريكي الذي اعتاده المؤلف. (المترجم)

وقد تخللت العصور الطويلة التي كان مناخ الأرض فيها من الدفء بحيث كانت توجد كمية قليلة نسبيا من الجليد حتى في المناطق القطبية، فترات أقصر كان المناخ فيها – لأسباب لا نفهمها تماما – أكثر برودة. ولما كان الثلج يسقط أثناء الشتاء بكميات أكبر مما تستطيع حرارة الصيف إذابته، فقد أخذ هذا الثلج يتراكم شيئا فشيئا، حتى إذا بلغ عمقا كبيرا تعرضت طبقاته السفلى للضغط، وتحولت إلى جليد بمعدل بوصة واحدة لكل عشر بوصات من الثلج الذي ينضغط بهذه الطريقة.

وقد واصل الجليد والثلج تراكمه في المناطق القطبية، وشبه القطبية، وفوق الجبال. ثم أخذ يزحف ببطء صوب الوديان. وحيثما كان يتراكم إلى ارتفاعات عالية، كانت الجاذبية تؤدي إلى انتشاره وامتداده، وهكذا زحف من الشمال والجنوب صوب الأراضي الأكثر دفئا.

وقد غمر الجليد مناطق هائلة، وما زال يتقدم حتى غطى ملايين الأميال المربعة، وهكذا استبدلت بالغابات، والبراري المنتشرة، والمستنقعات، والبحيرات، والأنهار، التي كانت تعج بالحياة، حقول باردة من الجليد، يبلغ عمقها في بعض الأماكن ميلين، ويسودها الصمت المطبق والعزلة الشاملة.

وقد صاحب تقدم الجليد فناء جميع أشكال الحياة أو تراجعها أمامه. ولما كانت النباتات تفتقر إلى القدرة على الحركة التي تتميز بها الطيور والحيوانات، فقد كانت أمامها فرصة ضئيلة للإفلات من الموت الزاحف،

إلا في حالة تناثر بذورها بفعل الرياح. وفي البحر، ماتت الحيوانات المرجانية التي كانت توجد في الاتجاهين الشمالي والجنوبي من المناطق التي أصبحت تعرف الآن بالمناطق شبه المدارية، وذلك عندما انخفضت حرارة المياه التي كانت تعيش فيها إلى أقل من ٦٨ درجة. وليس من شك في أن كثيرا من الحيوانات قد كيفت أجسامها وطريقتها في الحياة لتتلائم مع الظروف المناخية الأكثر برودة التي صادفتها عند تراجعها. فقد استطاعت هذه الحيوانات، جيلا بعد جيل، أن تنمي لنفسها كسوة من الفراء، أو طبقات من الشحم، كتلك التي تستخدمها الحيتان، وذلك حتى تحفظ نفسها دافئة.

ومن الناحية الأخرى، لم تستطع الحيوانات المتغيرة الحرارة (ذوات الدم البارد) – أي الزواحف، والضفادع، وأمثالهما – أن تكيف نفسها؛ فكان لزاما عليها أن تهاجر بسرعة، أو تتجمد. ونظرا إلى أنها بصفة عامة لم تستطع الهجرة، أو لم ترغب فيها، فقد تجمدت.

ونحن لا نعرف إلا القليل عن العصور الجليدية التي حدثت في الأزمنة الجيولوجية المبكرة، وذلك لأن يد الزمان قد طمست كثيرا من المعالم والآثار التي خلفتها الغطاءات الجليدية القديمة، وأثرت فيها إلى حد كبير. وقد كانت هناك حقبة في نهاية العصر الكربوني[٦٩] وصل الجليد

([٦٩]) العصر الكربوني أو الفحمي هو العصر الخامس من الحقبة الحيوانية القديمة Palozoic era، وقد بدأ هذا العصر منذ ٢٨٠ مليون سنة، واستمر ٥٠ مليون سنة، وتميز بتكوين أغلب الرواسب الفحمية الحالية من نبات المستنقعات والأحراش.

فيها إلى المنطقة المدارية، وترك أثره في قلب إفريقيا. ولكن ليس هناك من يعرف تماما لماذا وكيف حدث هذا أما اليوم، فإن قمم الجبال التي يتجاوز ارتفاعها ١٦.٠٠٠ قدما هي الأماكن الوحيدة في المنطقة المدارية التي يكللها الجليد الدائم، وتوجد بها ثلاجات وتظهر الصخور، بصفة عامة، أن تكوين الثلاجات يقترن بفترات بناء الجبال، ويبدو أن عدة فترات باردة قصيرة تحدث في أوقات متقاربة.

ونحن نعرف الكثير عن العصر الجليدي الأخير، أو الحالي بمعنى أصح، لأنه يضم جميع التاريخ البشري المسجل. وتعرف آخر حقبة التي قسم الجيولوجيون تاريخ الأرض إليها بحقبة البليستوسين Pleistocene (أي الحقبة الأحدث). وقد بدأت هذه الحقبة منذ أكثر من مليون سنة، واشتملت على ثلاثة أو أربعة عصور جليدية متعاقبة، تخللتها فترات زمنية دافئة. ويبدو أن العصور الجليدية لا تدوم أكثر من مائة ألف عام، وهذا من حسن حظ العالم، لأن جزءا كبيرا من الأرض يصبح مهجورا عندما تكون هذه العصور في أوجها، وتضطر الكائنات الحية إلى التجمع تجاه خط الاستواء. والأرجح أن الطقس البارد الحالي سينتهي في خلال ١٠.٠٠٠ سنة، وحينئذ ستختفي الغطاءات الجليدية من جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية، وسيصبح مناخ بوسطن مقاربا لمناخ نيوأورليانز اليوم. وقد ينمو

المرجان مرة أخرى في خليج "سانت لورانس" كما كان ينمو في العصر السليوري[٧٠].

وقد حددت ثلاجات العصر الأحدث (البليستوسيني) معالم كندا الجغرافية إلى حد بعيد، وكذلك الجزء الشمالي من الولايات المتحدة، والنصف الشمالي من أوروبا. وقد قامت هذه الثلاجات بعملها في وقت حديث لدرجة أن الماء لم يتح له وقت كاف كي يزيل ويمحو الأثر الذي خلفه الجليد بعد تراجعه. ولا يزال الدليل على هذا العمل واضحا ويمكن أن يقرأة حتى من لم يتلق تدريبا في الملاحظات الجيولوجية.

وعندما كان الغطاء الجليدي بأمريكا الشمالية في أقصى امتداد له، كان المحيط القطبي الشمالي يحده شمالا، والمحيط الأطلسي شرقا، والمحيط الاطلسي شرقا، والمحيط الهادي غربا. أما حدوده الجنوبية فكانت تصل حتى مدينة نيويورك، ثم تسير في خط متعرج حتى نهر أوهيو، وتنعطف في الاتجاه الشمالي الغربي بالقرب من مدينة سانت لويس، على طول المجرى الحالي لنهر ميسوري، ثم تصل إلى المحيط الهادي في مكان ما بالقرب من المجاري الحالية لنهري أوهيو وميسوري، دافعة إياهما إلى التدفق عبر حافتها الجنوبية التي يغذيها الجليد المنصهر.

---

(٧٠) العصر السيلوري Silueian Period، هو العصر الثالث منن الحقبة الحيوانية القديمة، وقد بدأ منذ ٣٦٠ مليون سنة، واستمر ٣٥ مليون سنة.
(المترجم)

وفي أوروبا، امتد الجليد في نفس الوقت من "نورث كيب" North Cape في النرويج إلى "كييف" في الجزء الجنوبي الغربي من روسيا. وفي أوروبا الغربية، تعرضت شعوب ما قبل التاريخ التي عاشت جنوبي فرنسا وإسبانيا منذ ٢٠.٠٠٠ عام لمناخ ثلجي. وقد تركت هذه الشعوب في كهوفها صورا تمثل الحيوانات القطبية التي كانت تقتنصها، كالرنة والماموث[٧١] ذي الفراء. وكانت بارعة في الرسم، إذ نحتت صورها فوق الجدران الصخرية على أعماق داخل الكهوف، الأمر الذي يفسر حفظها وصيانتها من التلف. ثم هجرت هذه الكهوف فيما بعد، وأصبحت نسيا منسيا. ولم يتم الكشف عنها إلا في الجزء الأخير من القرن التاسع عشر، حيث عثر على تلك الرسوم الفريدة، وأمكن استخلاص التواريخ التقريبية للشعوب التي أبدعتها، وكذلك معرفة الأصول الثقافية لهذه الشعوب في الحياة، عن طريق الآثار الفنية وغيرها من الأدلة التي وجدت في هذه الكهوف.

ولكي نفهم العمل الذي تقوم به الثلاجة في الأرض التي تغطيها، ينبغي علينا دائما أن نتذكر أن الجليد الصلب الذي تتكون منه هذه الثلاجة يكون بمثابة مادة لزجة شبه سائلة غليظة القوام، كالأسفلت، تتحرك دائما إلى أسفل. والجاذبة، سواء أكانت مباشرة نتيجة انحدار

---

(٧١) أشهر أنواع الفيلة المنقرضة التي عاشت في العصر البليستوسيني. بلغ حجما هائلا، كما كان يختلف عن الفيلة الحالية في كسوته السميكة ذات الشعر الغزير، وانابيه الطويلين المتقوسين إلى أعلى وإلى الخارج. وقد وجدت كثير من هياكل هذا الفيل محفوظة حفظا تاما في أماكن كثيرة من أمريكا الشمالية، وأوروبا، وفي جليد سيبيريا الشمالية بصفة خاصة. (المترجم)

الأرض التي تقع فوقها الثلاجة، أو غير مباشرة نتيجة ضغط كتل الجليد المتراكمة فوق منحدر خلفها، هي القوة المحركة للثلاجة. وعندما تصل الثلاجة إلى نقطة تكون فيها سرعة انصهارها مساوية لسرعة اندفاعها إلى الأمام، تصبح مقدمتها ثابتة. أما عندما تنصهر هذه المقدمة بسعة أكبر من السرعة التي تتجدد بها بفعل الضغط الخلفي، فإن الثلاجة تبدأ في التراجع. وحيثما تكون مقدمة الثلاجة المنصهرة ثابتة لفترة طويلة، تقوم ببناء كومة من الصخور، والطين، والحصى، والرمال وغيرها من المواد التي التقطتها خلال الطريق. وهذا ما يعرف بالركام الطرفي أو النهائي Terminal Moraine. كذلك تقوم الثلاجة بإسقاط بعض المواد التي تحملها حول حوافها، مثلها في ذلك مثل النهر الذي يكون الأخشاب المندفعة مع التيار على ضفتيه. وتعرف الأكوام التي تتركها الثلاجة على جوانبها بالركام الجانبي.

ومن الصعب أن نتخيل الكميات الهائلة من المواد التي تحملها الثلاجات، فهي تقوم – أثناء اندفاعها صوب الوديان بقوة لا تقاوم – بتمزيق قطع ضخمة من الجلاميد، أما الصخور الأقل فيؤدي مرور الجليد فوقها إلى سحقها وطحنها إلى قطع صغيرة ومسحوقة، وهكذا تجرف كميات هائلة من المواد، وتدفع أو تحمل مسافات طويلة. وقد جلبت الصخور النرويجية بهذه الطريقة إلى أسكتلندا. وكذلك تناثرت الجلاميد الضخمة التي جلبتها الثلاجات فوق شواطيء "كيب كود" [٧٢] Cape

---

([٧٢]) شبه جزيرة رملية في ولاية ماساتشوستش الأمريكية وفيها مصايف مشهورة منها "هيانيس بورت" الذي كان يقضي فيه الرئيس كندى الصيف. (المترجم)

Cod ، وأشهر هذه الجلاميد تعرف "بصخرة بليموث" Plymouth Rock ، التي يبدو أن ثالجة رحيمة نقلتها عدة أميال لكي تهيء بها مكانا يرسوا عليه الآباء المهاجرون [٧٣].

ويقوم الجليد، أحيانا بتعميق الوديان، وجعل جوانبها أكثر انحدارا، فقد شقت الثلاجات الفيوردات Fiords العميقة التي تحفها الصخور في النرويج، وألاسكا، وشيلي. وكثيرا ما يقوم ركام الثلاجات بسد الوديان وخلق البحيرات التي يوجد كثير منها في نيو إنجلند، ومينسيوتا، وكندا. وتتكون جزيرة "نانتوكيت" [٧٤] Nantucket من ركام طرفي خلفه أحد ألسنة الغطاء الجليدي الكبير.

وفي الجزء الشرقي من ولاية أوهيو بالقرب من الحدود الجنوبية للجليد، ملأت الثلاجة بالجرف الثلجي وديانا بلغ عمقها سبعمائة قدم، بحيث أنها لم تترك عند تراجعها أثرا لهذه الوديان، التي أمكن الكشف عن وجودها بحفر آبار عميقة.

ويمكن الآن تحديد سمك الثلاجات بواسطة طريقة استحدثت أصلا لقياس عمق الماء، وتتلخص هذه الطريقة في إرسال موجة صوتية إلى القاع، ثم قياس الوقت الذي يستغرقه عودة الصدى. ولما كانت سرعة انتقال

---

(٧٣) أول من هاجروا لاستيطان أمريكا، ويلاحظ أن صخرة بليموث مرسى مشهور لإحدى سفن هؤلاء الرواد. (المترجم)

(٧٤) جزيرة في المحيط الأطلسي، تقع على بعد ٢٥ ميلا جنوبي شبه جزيرة كيب كود. (المترجم)

الصوت معروفة، فإنه يمكن حساب العمق. ويمكن إحداث الموجات المستخدمة في قياس أعماق الجليد أو الأرض بإطلاق شحنة متفجرة.

ونحن نعرف بدرجة كبيرة من الدرجة مساحة الأرض التي كانت تغطيها ثلاجات العصر البليستوسيني، عندما كانت هذه الثلاجات في أوج امتدادها، إذ بلغت هذه المساحة نحو سبعة عشر مليونا من الأميال المربعة، أي ما يعادل ٢٨% من مجموع سطح اليابسة في الكرة الأرضية. أما اليوم، فلا تغطي الثلاجات سوى حوالي ستة ملايين من الأميال المربعة، أي أقل قليلا من ١٠% من مساحة اليابسة. غير أننا لا نعرف كم كان يبلغ سمك الجليد في العصر البليستوسيني. أما اليوم، فإن سمك الجليد في بعض أجزاء جرينلاند يتجاوز الميل، كما أن من المعتقد أن متوسط عمق الجليد في القارة القطبية الجنوبية يبلغ نحو ميل. وفي وقت من الأوقات، كانت أعلى الأجزاء في "الجبال البيضاء" White Mountains بولاية نيوهامبشير مغطاة بالجليد. وهذا يعني أن سمك الجليد كان يبلغ نحو خمسة آلاف قدما على الأقل. ويعتقد أن سمك الجليد كان يبلغ عشرة آلاف قدما في أجزاء من أوروبا وأمريكا وقد أتت كل هذه الكمية الهائلة من الماء الصلب من المحيط. ولذلك وصل انخفاض مستوى سطح البحر، عندما كانت الثلاجات في أوجها، إلى ثلاثمائة قدم عن مستواه العادي، واستنزف ماء الخلجان والأخوار الضحلة، وجفت مساحات كبيرة من قاع المحيط. وقد كان نهرا "بوتوماك" Potomac، و"جيمس" James، وجميع الأنهار الأخرى التي تصب في خليج "تشيزابيك" Cheasapeake الحالي، كانت فروعا لنهر "سسكويهانا" Susquehanna الذي كان مصبه، مثل مصاب

جميع الأنهار الشرقية، يمتد حينذاك مسافة بعيدة إلى الخارج فيما يعرف الآن بالمحيط الأطلنطي. وفي أوروبا كان نهر "التيمز" فرعا لنهر "الراين" الذي كان يجري عبر القنال الإنجليزي في ذلك الوقت.

ويقتصر تغيير الثلاجات للمعالم الجغرافية للقارات على خلق البحيرات، وإرغام الأنهار على تغيير مجاريها، وتعميق الوديان وملء بعضها الآخر، بل أن وزن الجليد وحده قد يؤدي إلى هبوط الأرض في الأماكن. وهذا يعني أن الأرض لا بد أن ترتفع في أماكن أخرى حتى تحافظ على اتزانها الذاتي الثابت. وقد تستغرق إزالة هذه التأثيرات وقتا طويلا. ويعتقد أن البحيرات الكبرى، وبعض البحيرات الكندية الكبيرة، كبحيرة "وينيبيج" Winnnipeg، تجمعت في منخفضات أحدثها ثقل الغطاء الجليدي، الذي كان سميكا جدا فوق المنطقة التي تشغلها هذه البحيرات الآن.

وقد يبدو لك أن الرأي القائل أن هذه المنخفضات الهائلة أمكن إحداثها بفعل ثقل الجليد إنما هو رأي خيالي، غير أن القياس الدقيق للسطح أثبت حدوث انخفاض في إحدى المناطق عقب بناء أحد الخزانات المائية الضخمة. ولا شك أن الثلاجات تضغط بقوة على نطاق أوسع من ذلك بكثير والأهم من ذلك أنها تمارس هذا الضغط لعدة آلاف من السنين.

وعندما يبدأ المناخ في العودة إلى الدفء مرة أخرى، يتراجع الجليد، ثم الكائنات الحية بسرعة، فتأتي النباتات أولا – الحزازيات[٧٥] والأشن [٧٦] التي تستطيع احتمال البرودة، ثم تتبعها النباتات العشبية والأشجار. وبعد ذلك تأتي الحيوانات آكلة العشب التي تتغذى على هذه النباتات، ثم تعقبها اللواحم التي تأكل الحيوانات التي تتغذى على النباتات. أما في الماء، فإن الأسماك والفقمة (عجول البحر) والحيتان التي كانت تعيش بحذاء حواف الجليد، تندفع إلى الأمام مع تراجعه. وعندما تتعرى الأرض نتيجة تراجع الجليد عنها، يصبح من الواضح أن الثلاجات قد قللت من قدرة بعض المناطق على تدعيم الحياة، وزادت هذه القدرة في مناطق أخرى؛ فهنا نجدها قد غطت الصخور أو التربة الهزيلة بطبقة عميقة من الصخور المسحوقة والتربة الغنية التي جرفتها من مكان آخر.

ويمكننا أن نقول أن الثلاجات لم تتحكم في طبيعة الأرض التي كانت تغطيها وقتا ما فحسب، بل أنها تتحكم أيضا إلى حد كبير في حرف الناس الذين قدر لهم أن يسكنوا هذه الأرض، فقد أزال الغطاء الجليدي الكبير

---

(٧٥) نباتات غير زهرية خضراء تتميز بأوراق رقيقة وسوق رفيعة وشعيرات جذرية تنمو عادة على الجزء الأسفل من الساق، وهي نباتات صغيرة، وإن كانت تبلغ أطوالا كبيرة في كثير من الأحيان. وتتكاثر عن طريق أجزاء تقتطع منها، أو بواسطة البراعم، أو الأبواغ.
(المترجم)

(٧٦) مجموعة من النباتات الدنيئة، تصنف عادة في قسم فرعي من الفطريات. وتتميز بقدرتها على مقاومة تطرفات الحرارة والبرودة، وذلك كانت أكثر أنواع الحياة النباتية انتشارا. وتكون كل أشنة ارتباطا تكافليا بين فطر وطحلب يقوم الفطر فيه بتغطية الطحلب ووقايته وتزويده بالرطوبة، بينما يقوم الطحلب بإنتاج الغذاء اللازم للأشنة كلها عن طريق عملية التمثيل الكلوروفيللي. (المترجم)

كمية ضخمة من التربة من ولايات "نيو إنجلند"[٧٧] وحملة بعيدا، تاركا مناطق من الصخور الجرداء والتربة الرقيقة التي تتناثر فوقها الجلاميد.

ولما كانت الزراعة عسيرة وباهظة التكاليف في هذه الظروف، فقد اتجه السكان إلى البحر والصناعة، وأرسلوا سفنهم، وملاحيهم، ومنتجاتهم إلى جميع أرجاء العالم. ومن الناحية الأخرى، كانت الثلاجات رقيقة بولاية "أيوا" ، فتركت لها تربة غنية عميقة شجعت الأيدي العاملة، أجزلت لها العطاء بسخاء، ولذلك أصبحت "أيوا" ولاية زراعية. وهذه المرحلة التي تتميز بدفء المناخ، وتراجع الثلاجات، وارتفاع مستوى سطح البحر، هي المرحلة التي نراها في أيامنا هذه، وان كان أي منا لن يعيش ليرى الكثير منها. وذلك لأن مستوى سطح البحر يبدو أنه يرتفع ببطء. كما أن مستوى الارتفاع السنوي في الحرارة قد يكون بمعدل درجة واحدة في كل خمسمائة عام، وربما أكثر. هذا في حين أن انخفاض درجة الحرارة اللازمة لإحداث حقبة جليدية لا يتجاوز على الأرجح عشر درجات عن الحرارة العادية. وقد تراجعت الغطاءات الجليدية الكبرى بالفعل إل جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية. ولا تزال جبال الألب والروكي تحتفظ بثلاجاتها، ولكن هذه الثلاجات ليست سوى آثار ضئيلة لمناطق الجليد الهائلة التي كانت موجودة منذ خمسة وعشرين ألف عام فقط.

---

(٧٧) اسم جامع يطلق على ولايات: مين Maine، ونيوهامبشير، وفيرمونت، وماساتشوستش، وكونتكت، ورود أيلاند، الواقعة في الجزء الشمالي الشرقي من الولايات المتحدة الأمريكية.
(المترجم)

وعندما ينتهي العصر الجليدي الحالي بالفعل، سيكون من الممكن – على الأرجح – زراعة البطاطس في القارة القطبية الجنوبية، ولكن ستحدث أمور أخرى كثيرة تثير المتاعب؛ فسوف يرتفع سطح البحر عن حده الحالي بمقدار يتراوح بين ثلاثين وخمسين قدما، وسوف يسترجع جزءا كبيرا من الأرض التي وجدناها نافعة جدا. وربما احتاجت بعض مدننا الكبرى حينئذ إلى زوارق الجندول أكثر مما تحتاج إلى قطارات "المترو".

وقد أمكن معرفة الكثير عن سلوك الثلاجات عن طريق دراسة ثلاجات الألب وغيره من الجبال. مثال ذلك أن ثلاجة "الآر" The Aar، وهي إحدى ثلاجات الألب، قد احتاجت إلى ١٣٣ عاما كي تتحرك عن مكانها في القمة إلى مكانها الأخير، وهي مسافة تقدر بعشرة أميال. ويتراوح المعدل المتوسط لحركة ثلاجات الألب بين ست بوصات وخمس عشرة بوصة في اليوم. والثلاجة، كالنهر، يتحرك مركزها بسرعة أكبر من أطرافها.

ولعله من الطريف أن نبحث كيف يتسنى للثلاجة التي تظهر لنا جليدا صلبا، أن تتحرك أصلا. وتعرف العملية التي تجعل هذه الحركة ممكنة بعملية تناوب التجمد والذوبان tegelation. ولعلك تذكر ما سبق أن قلناه من أن نقطة تجمد الماء تنخفض عند زيادة الضغط الواقع عليه. فعندما يزداد الضغط على جليد الثلاجة يحدث ذوبان عند النقط المعرضة لأكبر قدر من الضغط، مما يتيح شيئا من الحركة فوق الصخور التي تجثم عليها هذه الثلاجة، يحدث ذوبان جزئي عند النقط المعرضة لأكبر قدر من الضغط، ممنا يتيح شيئا من الحركة فوق الصخور التي تجثم عليها هذه

الثلاجة، وكذلك داخل الجليد نفسه. وعندما تزيل الحركة أثر الضغط، تعود الثلاجة إلى التجمد مزرة أخرى. وتتكرر هذه العملية باستمرار، وهي تفسر حركة الثلاجات البطيئة، التي لا تقاوم، صوب المستويات الأكثر انخفاضا.

والثلاجات لا تتراجع جميعها طول الوقت، ففي الفترة ما بين عامي ١٨٤٥ و ١٨٨٣، تراجعت نهاية ثلاجة "فيرنات" Vernagt، في التيرول، ألفي ياردة، ولكن هذه الثلاجة تقدمت وتراجعت عشر مرات منذ بداية القرن السابع عشر، وكان التراجع هو الحصيلة النهائية، وهذا هو الحال أيضا بالنسبة إلى أغلب الثلاجات التي لوحظت بدقة خلال فترات طويلة.

والواقع أن العصور الجليدية هي إحدى الألغاز الأرضية غير المحلولة، وإن كانت هناك كثير من النظريات التي وضعت لتفسيرها. أما نظريتي الخاصة، التي واصلت عرضها لمدة عشرين عاما، والتي لا تزال مع ذلك بعيدة عن تلقي موافقة عامة، فيمكن تلخيصها بإيجاز شديد كالآتي: نحن نعرف أن الفضاء تتناثر فيه كمية ضخمة من المواد المجزأة تجزيئا دقيقا، كالذرات، والجزيئات، والغبانر الدقيقة.

وتحوي بعض أجزاء الفضاء كمية من هذه المواد أكبر كثيرا مما تحويها الأجزاء الأخرى، فهناك أجزاء صافية نسبيا، وأجزاء أخرى مثقلة بهذه المواد لدرجة أننا نطلق عليها اسم سحب الغبار. على أننا حتى لو وجدنا

وسط إحدى سحب الغبار، لما تسنى لنا معرفتها، وذلك لأن المواد الموجودة بها تكون من الرقة بحيث تبدو الشمس والنجوم من خلالها كما تبدو للعين المجردة، غير أن ضوء الشمس النافذ خلالها بعد أن قطع مسافة تبلغ ٩٣ مليونا من الأميال يصبح أقل قليلا. كذلك يقل الإشعاع الحراري المنعكس من الأرض عند مروره خلالها. وعلى هذا الأساس، فقد تكون التفاوتات الموجودة في كثافة الغبار الكوني الذي تخترقه المجموعة الشمسية هي السبب في حدوث العصور الجليدية، وأزمنة الدفء الطويلة التي يتكون خلالها الفحم في جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية، وينمو المرجان والنخيل في أماكن تبعد كثيرا صوب الشمال والجنوب عن حدود نموها الحالية.

إن الثلاجات التي لا تعدو أن تكون كتلا ضخمة من الماء الصلب، من أقوى العوامل التي غيرت سطح الأرض وحددت شكله، ولا يضارعها في هذا إلا اضطرابات القشرة الأرضية التي أدت إلى رفع الجبال وخفض القارات، وكذلك الحمم البركانية التي غمرت مساحات شاسعة بالصخور المنصهرة.

وقد قام جليد العصور الجليدية القصيرة نسبيا بزحزحة حدود اليابسة والبحار، وقلب مجاري الأنهار رأسا على عقب، وتكوين البحيرات الكبيرة، ثم إزالتها، ثم تكوينها من جديد، وتغيير مجرى الحياة، ودفعه، وتدميره أحيانا. إن الجليد يتحكم في نصف قارة، ويغيرها، ويبقيها قاحلة مجدبة لفترة ما. ثم يتراجع، عندما يعود الدفء، ويتنحي عن الأرض للحياة التي تجيء في أعقابه، ومرة أخرى يعود الماء الصلب، الذي كان يسيطر على الأرض وقتا ما إلى البحر الأزلي.

الفصل التاسع

الأحياء المائية

كيف، وأين، ومتى، بدأت الحياة على هذا الكوكب؟ سؤال كثر التفكير حوله، وتباينت النظريات بشأنه. غير أن هناك اتفاقا عاما على أن الحياة بدأت في الماء. والواقع أن ما نعرفه عن الحياة قبل أن يبدأ الإنسان في تسجيل تراثه، يكاد يكون مستمدا كلية من الحفريات المحفوظة في الرواسب التي انفصلت من الماء في مختلف العصور الجيولوجية. ويعتقد أغلب علماء الأحياء أن الحياة بدأت في المياة الملحة للمحيطات الأولى، ولكن قليلا منهم يعتنقون نظرية تقول أنها بدأت في الماء العذب، كذلك تختلف آراء المختصين حول الوقت الذي ظهرت فيه أول بادرة للحياة، وإن كان من المؤكد أن الحياة ظهرت منذ بليون سنة، وربما قبل ذلك بكثير.

والحياة لم تبدأ في الماء فحسب، بل يمكننا أيضا أن نقول – دون أن نحيد كثيرا عن الدقة العلمية – أن الحياة لم تترك الماء قط. ذلك أن جميع صور الحياة تستمر بفضل البروتوبلازم، وتمارس نشاطها داخله. وقد عرف أحد المعاجم البروتوبلازم بأنه "مادة زلالية نصف سائلة، تعد الأساس الأول للحياة الطبيعية التي تتطور منها جميع الكائنات الحية"، كما عرفه معجم آخر بأنه "المادة الأساسية لكل من جسم الخلية ونواة الخلايا

الحيوانية والنباتية.. ويعد الآن الشكل الوحيد للمادة الذي تظهر فيه، أو عن طريقه، ظواهر الحياة". وتكون المواد الأخرى التي يتكون منها البروتوبلازم ذائبا في الماء أو معلقة به. فالماء أساسي للبروتوبلازم، والبروتوبلازم أساسي للحياة.

وأستطيع أن أضيف إلى ذلك، على سبيل الاستطراد، أن من الصحيح أيضا أنه لا يوجد بروتوبلازم بدون الحياة، فعندما تنتزع الحياة لا تعود المادة المتبقية من نوى البروتوبلازم، وإنما تصبح مجرد مادة عضوية ميتة. والواقع أن الحياة هي الشكل النهائي الثالث من أشكال الوجود في كوننا، أما الشكلان الآخران – وهما المادة والطاقة – فنحن نعرف الآن أنهما قابلان للتحول كل إلى الآخر. وهذه الأشكال الثلاثة تنتج جميع الظواهر التي نعرفها.

والأرجح أن أقدم الكائنات الحية كانت نباتات تشبه الطحالب، وكانت أجسامها لينة، دون هياكل أو أغلفة صلبة، بحيث كانت أمامها فرصة ضئيلة كي تترك أثرا في الصخور يستطيع علماء الحفريات عن طريقة الكشف عنها. وعندما وصل العالم إلى العصر الكمبري، منذ نحو خمسمائة مليونا من السنين، كانت الحياة قد تطورت إلى عدة أشكال، يوجد منها كثير من الحفريات. ولما كنا نعرف أن التطور القديم كان بطيئا، فإن تنوع الأشكال النباتية والحيوانية في العصر الكمبرى يدل على أن الحياة وجدت قبل ذلك بعدة مئات الملايين من السنين. وقد توطد هذا الاستنتاج حديثا

عن طريق العثور على آثار للكائنات الحية، أو لنشاطها، في صخور العصر قبل الكمبرى.

أما ما يحملنا على الثقة من أن أول أشكال الحياة كان نباتات أو ما يشبه النباتات، فهو أن هذه الأشكال كان عليها أن تبني أجسامها وتغذيها من مواد غير عضوية. ولما كانت جميع أشكال الحياة توجد بفضل ما تصرفه من الطاقة، فإنه لا بد لها أن تكفل هذه الطاقة من مصدر خارج عن أجسامها ذاتها، وفي البداية كان ضوء الشمس هو المصدر الوحيد المتاح للطاقة. وكانت النباتات هي الكائنات الوحيدة التي تستطيع استغلال الطاقة الشمسية في القيام بالعمليات الكيميائية والطبيعية التي تحول المادة غير العضوية إلى مادة حية.

والأرجح أن البناتات الأولى كانت طحالب خضراء، أو زرقاء مخضرة، أو حمراء. وكانت بسيطة نسبيا، ولكنها كانت قادرة على النمو والتكاثر. ولا شك أنها انتشرت بسرعة، إذ لم تكن هناك حيوانات تأكلها. وقد استخدمت هذه النباتات طاقة الضوء الشمسي، عن طريق ما يعرفة بعمليات التمثيل الضوئي، في تفتيت ثاني أكسيد الكربون والماء. ثم ربط الكربون بالأيدروجين من جديد لتكوين مواد أيدروكربونية كالسكر، والنشا، والسليلوز، وإطلاق الأكسجين الزائد عن حاجتها. والأرجح أن الهواء والماء في تلك الأيام المبكرة كانا يحويان كمية من ثاني أكسيد الكربون أكبر كثيرا مما يحويانها الآن، بينما كان يحويان كمية أقل من الأكسجين الطليق، وذلك لأن النباتات استمرت في شطر ثاني أكسيد

الكربون، مستخدمة الكربون ومحررة الأكسجين، على نطاق واسع ربما طوال بليون من السنين. وفي الوقت الحالي، تقوم النباتات الموجودة في الأرض كل عام بإدماج ١٥٠.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠ طنا من الكربون مع ٢٥.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠ طن من الأيدروجين، وإطلاق ٤٠٠.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠ طنا من الأكسجين. وتعد الطاقة الإجمالية التي يستمدها الإنسان من إحراق الفحم، والنفط، وجميع أنواع الوقود الأخرى، وكذلك من القوى المائية وجميع المصادر الأخرى، تعد عديمة الأهمية تماما إلى جانب الطاقة الشمسية التي تستخدمها النباتات. وقد قال أحد الثقات: "ربما كان ٩٠% من هذه الصناعة الكيميائية الضخمة تحدث تحت سطح المحيط بفعل الطحالب المجهرية".

ويتحول بعض الكربون ثانية إلى ثاني أكسيد الكربون بفعل البكتيريا، ولكن كميات ضخمة من الكربون الذي كان في وقت ما على هيئة ثاني أكسيد الكربون في الجو والماء، تحولت إلى فحم، ونفط، وجرافيت، وحجر جيريز ومازالت موجودة حتى اليوم. وعندما نحرق الفحم، أو زيت النفط، أو غاز الاستصباح، أو الخشب، فإننا نعكس في الواقع عمل النباتات وضوء. وذلك لأن كل عملية من عمليات الاحتراق تأخذ الأكسجين من الجو وتربطه بالكربون لتكوين ثاني أكسيد الكربون، وبالأيدروجين لتكوين الماء. وتبلغ نسبة ثاني أكسيد الكربون في الهواء الآن ٠.٠٣% فقط، ولكن هذا الهواء من السعة والضخامة بحيث أننا نستطيع إحراق عدة بلايين من

أطنان الفحم كل عام طوال عدة قرون دون أن نحدث أي تغيير محسوس في نسب الأكسجين وثاني أكسيد الكربون [٧٨].

وربما كانت عملية التمثيل الضوئي أعجب عملية تحدث في الطبيعة، فقد قامت الطاقة الشمسية عن طريقها، وبمساعدة الماء، وببناء العالم العضوي الحي بأسرة من مواد غير عضوية لا حياة فيها. وليس هذا فحسب، بل لقد وجدت بفضلها جميع مخازن الأرض الضخمة من الفحم والبترول، وصخورها النفطية، وشعابها المرجانية الهائلة، قد جاءنا كل ذلك نتيجة نشاط الحياة في العصور السابقة. وتعيش جميع النباتات، من الطحالب البدائية التي توجد في الطبقة المخاطية الخضراء التي تغطي سطح البرك حتى حقول الحنطة الناضجة الذهبية وأشجار البلوط والدرادر الفاخرة، تعيش بفضل هذه العملية وحدها.

ولا بد لجميع الحيوانات، وضمنها أنت وأنا، وكذلك جميع البكتيريا، أن تعيش عن طريق أكل النباتات، أو المنتجات النباتية، أو الحيوانية التي أكلت هذه النباتات أو المنتجات. فقد نأكل سمكة كانتو تعيش على أكل أسماك أصغر وهذه بدورها كانت تعيش على أسماك ما زالت أصغر، أو

---

(٧٨) إننا نعبر أحيانا عن الشيء الخفيف، فنقول: "إنه في خفة الهواء"، ولكننا لا نعرف أن الميل المكعب من الهواء عند سطح البحر يزن ٥.٠٠٠.٠٠٠ طن. ومن السهل عليك أن تحسب وزن جميع الهواء الموجود في العالم. فهو يساوي ١٤.٧ رطلا مضروبا في مساحة الكرة الأرضية بالبوصات المربعة. وتبلغ هذه المساحة ١٩٧.٠٠٠.٠٠٠ مقدرة بالأميال المربعة. فإذا قمت بعمل الحساب المطلوب، وأخذت منه نسبة ٠.٠٣% فسوف تجد أن الغلاف الجوي يحوي نحو ١.٧٤٣.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠ طنا من ثاني أكسيد الكربون.

على ديدان، أو غيرها من الحيوانات، ولكننا إذا تتبعنا هذه السلسلة حلقة حلقة، فلا بد أن نجد دائما نباتات في نهايتها. وعلى هذا يمكننا أن نقول أن جميع أشكال الحياة الأخرى، غير النباتات، طفيليات. فالنباتات، إذن، هي قاعدة وأساس هرم الحياة الذي يحتل الجنس البشري قمته.

وقد كان للأنواع الأولى من الحياة في البحر جسم لين، ولكن سرعان ما تضحم، منذ البداية، أن الحصول على هيكل صلب أمر له فوائده الظاهرة، فسار التطور في هذا الاتجاه منذ القدم. وهناك طريقتان لاستخدام الهياكل، طريقة خارجية وأخرى داخلية، وقد استخدمت الحيوانات كلتا الطريقتين. وعلى هذا الأساس تقسم جميع الحيوانات التي ليست لها أجسام لينة إلى مجموعتين كبيرتين، وقد استخدمت الهياكل الأولى من الخارج، ولذلك تكون الحيوانات اللافقارية المجموعة الأقدم. وتشمل هذه المجموعة في الماء على المحار، والسرطان البحري (أبو جلمبو)، والأربيان Lobster، وغيرها من القشريات، كما تشتمل في الأرض على تشكيلة ضخمة من الحشرات التي تستخدم "عظامها" من الخارج. أما الفقاريات، وكلها من ذوات الهياكل الداخلية، فقد عرفت بالحركة والذكاء، وهي تسيطر الآن على الماء واليابسة.

والواقع أن نظام العظام الداخلية أنسب كثيرا للحيوان النامي، وقد حل المحار مشكلة النمو هذه باستخدام صدفة ذات مصراعين، أو صدفة واحدة تنمو وفقا لنظام حلزوني آخذ في التضخم. أما السرطان، والربيان،

وبعض القشريات الأخرى، فهي تطرح غطاءها القديم عندما تشعر بالضيق منه، ثم تشرع في تكوين غطاء جديد أكبر.

والحياة في البحر ليست أقدم من الحياة في اليابسة فحسب، بل لقد كان تغيرها أقل من تغير الثانية إلى حد بعيد. وفي البداية الحقبة الحيوانية القديمة، منذ خمسمائة مليونا من السنين، كانت الحياة في المحيط وطيدة التطور. فقد كانت الأعشاب البحرية والحيوانات الصدفية شبيهة تماما بمثليتها الحالية. بل أن بعض الأنواع تبدو، من ناحية تغيرها التركيبي، وكأن الزمن قد توقف بالنسبة إليها، وتعطل التطور.

والواقع أن الشخص الخبير وحده هو الذي يستطيع ملاحظة الفرق بين إحدى المحارات ذات المصرعين التي وجدت في العصر الميوسوني منذ خمسة عشر مليونا من السنين، وبين محارة من نفس النوع وجدت بالأمس. ويبدو أن هذه المحارات من النوع القنوع المحافظ، على أن هناك مجموعات كثيرة أخرى لم تنجح بهذه الدرجة، كما أن كثيرا منها قد انقرض، فالتريلوبيت [٧٩] trilobite، كان حيوانا شبيها بالسرطان البحري المعروف بسرطان حدوة الحصان horseshoe crab الذي يحتمل أن يكون على قرابة به. وقد ظهر التريلوبيت لأول مرة على هيئة حفريات في صخور العصر الكبري، تلك الصخور السحيقة في القدم التي نجد فيها أول الآثار

([٧٩]) مجموعة منقرضة من المفصليات البحرية التابعة للعصر الحيواني القديم تتميز بانقسام غطائها الظهري الصلب إلى ثلاثة فصوص مستعرضة.
(المترجم)

الحفرية للحياة البدائية على نطاق واسع. ولم تكن أولى حيوانات الترايلوبيت تزيد في الحجم كثيرة عن رأس الدبوس، ولكنها أخذت تكبر تدريجيا بمرور الوقت. وفي قمة تطورها، كان يوجد منها ألف نوع، تجاوز طول بعضه قدما. ويبدو أنها كانت توجد بكثرة في جميع المحيطات، وقد اختفت في نهاية العصر البيرمي[٨٠] Permian، بعد أن استمرت مائتي مليونا من السنين، وليتنا نعيش مثلها.

ويمكن تقسيم الأحياء البحرية إلى ثلاثة أقسام كبيرة، هي: البلانكتوز Plankton التي تشمل جميع الأشكال التي تنساق مع التيارات من حيوانية ونباتية وبكتيرية، والنكتون Nekton، وهي الكائنات العضوية التي تسبح بانطلاق وتستطيع الحركة في اتجاه التيار أو عكسه، وأخيرا هناك مخلوقات الأعماق Benthos التي تلتصق بقاع البحر أو تزحف فوقه.

وقد قدر العلماء أن تسعة أعشار الحياة برمتها توجد في الماء، وهو أمر يبدو غير معقول، ولكنك إذا أمعنت النظر قليلا لوجدت أن نحو ٧٠ % من سطح الأرض يغطيه الماء، والأهم من ذلك أن سمك المنطقة التي توجد بها الحياة أكبر كثيرا في الماء منها في اليابسة؛ فالحياة على اليابسة تكاد تكون محصورة بين بضعة أقدام تحت السطح وقمم الأشجار، على ارتفاع مائتي قدم مثلا، هذا فضلا عن أن هناك مساحات شاسعة لا توجد بها سوى حياة ضئيلة، أو لا توجد بها حياة على الإطلاق؛ فالقارة القطبية

---

(٨٠) العصر السادس والأخير من الحقبة الحيوانية القديمة. بدأ منذ ٢٣٠ مليونا من السنين واستمر ٢٥ مليونا (المترجم)

الجنوبية برمتها، التي تبلغ مساحتها ٥.٠٠٠.٠٠٠ ميلا مربعا، وهي مساحة أكبر كثيرا من مساحة أوروبا، مجردة من الحياة باستثناء قليل من الطيور والفقمة التي تعيش حول حافتها. كذلك توجد مساحات صحراوية وشبه صحراوية هائلة ليس بها سوى قليل من الحياة، إذ لا تعيش الحياة بغير ماء. هذا فضلا عن سلاسل الجبال الضخمة والهضاب العالية التي تغطي الصخور الجرداء أو الثلوج والجليد مناطق كبيرة منها، وهذه المناطق مجردة من الحياة.

وتوجد أغلب الحياة البحرية في الستمائة قدم الأولى من السطح، حيث يتوغل ضوء الشمس بشدة تكفي لنمو النباتات بغزارة، وفي هذه الطبقة من الماء، تنمو الحياة النباتية والحيوانية بدرجة لا يمكن تصور وفرتها وتنوعها. ويصل بعض الضوء إلى عمق قدرة ١٢٠٠ قدما أو يزيد، فتمتد معه الحياة.

ولكنها تقل كلما قل هذا الضوء، والواقع أن النباتات لا تستطيع الحياة دون قليل من الضوء على الأقل، أما الحياة الحيوانية في البحر، فلا تعرف قيودا كهذه. فحيثما أرسل الإنسان شباك الأعماق أو أدوات الحفر (الكراكات) وجدها هناك. بل أن الحياة توجد وتتكاثر بتنوع ونهم حتى في الأعماق السحيقة التي يكتنفها الظلام الدامس، وتسودها الضغوط الهائلة، وحيث تكون درجات الحرارة قريبة دائما من نقطة تجمد الماء العذب، أو أقل منها.

وفي المناطق القطبية، حيث لا توجد على الأرض سوى حياة ضئيلة، تزخر المياة بالدياتومات وغيرها من النباتات الصغيرة والحيوانات التي تتغذى عليها. والواقع أنه توجد بالمياه القطبية كمية من هذه الكائنات الصغيرة أكبر مما توجد في المياه الاستوائية. ويرجع إلى أن المياه الأبرد تستطيع الاحتفاظ بكمية أكبر من الأكسيجين وثاني أكسيد الكربون الذائب، وكلاهما ضروري لبقاء النباتات ونموها. وبينما تحوي المياه الباردة كمية أكبر من الكائنات الحية، فإن المياه في المناطق المدارية تحوي تشكيلة أكبر من الأنواع. وتزدحم أجزاء من المحيط أحيانا بالاجسام الصغيرة أو المجهرية إلى درجة أنها تعج فعلا بملايين الكائنات العضوية في كل قدم مكعب منها. وتوجد ابتداء من النباتات المجهرية حتى أسماك القرش والحيتان، سلسلة متصلة يتغذى فيها الأكبر على الأصغر، ولكن عندما يموت الأكبر، فإن البكتيريا الدقيقة هي التي تقوم، كما هي الحال في اليابسة، بالتخلص من بقاياه الأخيرة. وهكذا تبدأ دورة الحياة من الصغيرة جدا، وتنتهي إليه.

والجزء الأكبر من الحياة النباتية في البحار يطفو بحرية، فهو جزء من البلانكتون (الأحياء المناسبة)، كما أنه صغير وبدائي جدا بالنسبة إلى مثيله على اليابسة. ويرجع ذلك إلى أنه لا يتعين عليه قط أن يكيف نفسه مع التغيرات التي تطرأ على البيئة، ومع تطرفات الحرارة والرطوبة والجفاف التي لا بد أن يصادفها الكائن العضوي الذي يعيش على اليابسة. فالنبات، على اليابسة، قد يتعرض خلال ساعات قليلة لتغيرات في الحرارة أكبر كثيرا من التغيرات التي يصادفها طوال حياته في البحر. وكثير من الأحياء المائية

السائبة (البلانكتون) تكون صغيرة إلى درجة أنها تنفذ خلال الحرير الرقيق. والواقع أن صغر الحجم هذا له ميزات كبيرة بالنسبة إلى النبات الطافي في البحر. فهو لا يحتاج في هذه الحالة إلى مجموع جذري، أو ساق قوية تدعمه. أما إذا كان النبات كبيرا، فلا بد من إبقائه طافيا بواسطة أكياس هوائية أو ما شابهها. ولما كان الضوء تحت الماء أقل شدة منه على الأرض بكثير، فإن النبات لا بد أن يعرض أقصى قدر ممكن من سطحه النسبي للضوء، وكذلك لامتصاص الأكسيجين، وثاني أكسيد الكربون، والمواد الغذائية اللازمة للحياة والنمو.

وأكثر التركيبات اقتصادا هو الخلية الواحدة التي يتعرض سطحها كله للضوء، ويستطيع امتصاص المواد من الماء، هذا فضلا عن أن لن تكون هناك حاجة لأجهزة النقل داخل الخلية الواحدة، وإذا اتحد ألف مليون من الخلايا فإنها لا تكون إلا كائنا عضويا صغيرا، ولكن حجم هذا الكائن يكون أكبر حوالي ألف مرة بالنسبة إلى سطحه من حجم الخلية الواحدة بالسبة إلى سطحها. ذلك لأن سطح الجسم يزداد بنسبة مربع طول ضلعه، أما الحجم فيزداد بنسبة مكعب طول هذا الضلع، فإذا نحن ضاعفنا قطر كرة ما فإن سطحها يزداد أربع مرات، بينما يزداد حجمها ووزنها ثمانية أضعاف.

ويبلغ من ميزة صغر الحجم في الماء أن هناك قاعدة عامة بالنسبة إلى النباتات والحيوانات التي تعيش في المحيط، تنص على أنه كلما صغر الفرد من هذه الكائنات، ازداد الحجم الإجمالي لجميع الأفراد المنتمين إلى نوعه،

فأسماك الرنجة أصغر من الحيتان، ولكن الوزن الإجمالي لجميع هذه الأسماك أكبر من وزن الحيتان عدة مرات. أما الوزن الإجمالي للأحياء المجهرية السائبة (البلانكتون)، فهو أكبر إلى حد بعيد من وزن الرنجة مضافا إليه وزن جميع الأسماك الأخرى التي تعيش في البحر.

ويتكون أغلب الأحياء البحرية السائبة من نباتات وحيوانات مجهرية، أشهرها الدياتومات. وهي نباتات وحيدة الخلية، لونها بني مائل إلى الخضرة، ويحيطها غلاف شفاف من السليكا. وتأتي بعد ذلك الشعاعيات Radiolaria [٨١] والمثقبات Foraminifera [٨٢] في أعداد خيالية بهياكلها الصدفية المتقنة. وهناك أيضا كثير من الحيوانات الأكبر، يصل قطر بعضها "كالمركب البرتغالي" [٨٣] وغيره من قناديل البحر الكبيرة، إلى قدمين. وتمر كثير الأسماك والأصداف بمرحلة طافية مبكرة، وهذه تضيف بلايين إلى الأحياء السائبة. وعندما تكون الظروف ملائمة، قد تضاعف هذه الأحياء عددها يوميا حتى يتلون البحر ويتلوث بها. وقد أدت هذه

---

(٨١) مجموعة من الحيوانات البحرية الجذرية الأقدام rhizopod الوحيدة الخلية. سميت بالشعاعيات لأن لها كثيرا من الأقدام الكاذبة الطويلة الدقيقة التي تبرز من هياكلها على هيئة شعاعية. وقد قامت هذه الهياكل المكونة من السليكا بدور مهم في تكوين الصوان، ورواسب قاع المحيط.
(المترجم)

(٨٢) انظر الهامش المكتوب في صفحة ٥٠
(المترجم)

(٨٣) نوع من قناديل البحر أو الأسماك الهلامية، وهي حيوانات بحرية لها شكل الجرس أو القرص، تحيط فمها خيوط لادغة. ويتميز هذا الحيوان بلونه الأزرق الزاهي، وحجمه الكبير، وما يسببه وخزه في جلد الإنسان من ألم شديد. وهو يسحب في البحر بواسطة كيس هوائي كبير تعلوه حافة كالشراع تندفع بواسطة الريح. (المترجم)

الظروف إلى موت ملايين من الأسماك على مقربة من ساحل فلوريدا بسبب نقص الأكسجين، وتكدس أجسامها فوق الشواطيء.

وبينما نجد ان كمية الحياة الحيوانية والنباتية من الماء أكبر كثيرا منها في اليابسة، فإن الحياة في اليابسة أكثر تنوعا إلى حد بعيد، وقد أوضحت الدراسات التحليلية التي أجريت عام ١٨٩٨ أنه لا يوجد من الحيوانات البحرية، بما فيها تلك التي نعيش في المياه العذبة، سوى ٨٥.٠٠٠ نوعا، في مقابل ٣٢٧.٠٠٠ نوعا تعيش في اليابسة. ويرجع هذا الاختلاف إلى أن ظروف البحر أكثر تجانسا إلى حد بعيد، وإلى أن جميع المحيطات متصلة بعضها ببعض. هذا في الوقت الذي أدى فيه انعزال كتل اليابسة، وما هيأته من الظروف المعيشية الشديدة التباين، إلى إنتاج أنواع جديدة ومختلفة من الأحياء. كما أن من المحتمل أيضا أن معرفتنا بالحياة في اليابسة أدق وأكمل منها في البحر؛ ففي عام ١٩٣٨اصطاد أحد صيادي الأسماك سمكة كبيرة الفم قبيحة الشكل، تنتمي إلى نوع كان يفترض أنه انقرض منذ خمسين مليونا من السنين.

وتوجد جميع الأقسام الحيوانية الكبيرة، أي الشعب، ممثلة في الماء. بينما لا توجد فيه قليل من الطوائف الأصغر، كالبرمائيات وذوات الأرجل المائة[٨٤]. أما أكبر أقسام الحياة الأرضية تعدادا، أي الحشرات، فهي نادرة

([٨٤]) ذوات الارجل المائة، طائفة calss تنتمي إلى شعبة Phylum المفصليات وتشبه الحشرات من بعض الوجوه وصفة الأرجل المائة هذه مضللة إلى حد ما إذ يتفاوت عدد الأرجل في الأنواع المختلفة لهذه الطائفة بين ١٥: ١٧٣ زوجا (المترجم)

إلى حد بعيد في المياة المالحة. ومن الناحية الأخرى، هناك شعب بأكملها من الأحياء البحرية لا يوجد ما يمثلها على اليابسة إطلاقا، ومن أمثلتها الأصداف المسرحية[٨٥] Lamp shells والجلد شوكيات [٨٦] echimnolderms، والإسفنجيات والمراجين.

وعلى حين أن أنواع الأحياء الأرضية أكبر عددا، فيبدو أن المجموعات البحرية الكبيرة أعظم تفاوتا في الحجم، والتركيب، والعادات، والواقع أن هذا التفاوت في الحجم ليس بالأمر المستغرب. إذ أنه من الصعب أن نتخيل حيوانا في حجم الحوت وهو يقفز فوق اليابسة، أما في البحر فليس على الحيوان أن يحمل ثقل وزنه، إذ يقوم الماء بكل العمل أو أغلبه. وبينما يتدرج حجم الأحياء في الأرض من أصغر أنواع البكتيريا حتى الفيل الإفريقي، فإنه في الماء يبدأ بالبكتيريا وينتهي بالحيتان، وهي أكبر ما شاهده عالمنا من أشكال الحياة على الإطلاق، والواقع أن الحوت الكبير يزيد في الوزن عن عشرة أفيال ضخمة. أما التفاوت الكبير في شكل الجسم وطريقة الحياة بين الحيوانات البحرية فيمكن إيضاحه بمقارنة الإسفنج بسمك القرش، أو المحار بالفقمة (عجول البحر).

---

(٨٥) طائفة من الحيوانات البحرية تنتمي إلى شعبة ذوات الأرجل الذراعية braehiopoda. لها أصداف ذات مصراعين، تشبه بلح البحر ظاهريا، ولكنها لا ترتبط به ارتباطا وثيقا. وكانت تضم عددا من الأفراد والأنواع أكبر في العصرين الحيواني القديم والأوسط.
(المترجم)

(٨٦) شعبة من الحيوانات البحرية تضم قنافد البحر، وخيار البحر، ونجوم البحر، والنجوم الهشة، والنجوم الريشية، وزنابق البحر، يحتوي جلدها صفائح هيكلية كلسية، ويتميز تركيبها بتناسق إشعاعي منتظم
(المترجم)

ولعله من المناسب، ونحن في صدد الكلام عن الاختلافات بين الحياة في الماء واليابسة، أن نشير إلى اختلاف عميق تفرضه البيئة، ذلك أن جميع الحيوانات الأرضية تقريبا لا بد لها أن تتحرك كي تبحث عن غذائها. فالحيوانات آكلة النباتات تذهب إلى النبات، وتلك التي تأكل غيرها من الحيوانات يتعين عليها أن تبحث عن هذه الحيوانات وتقتنصها. وهذا ما تفعله أيضا الحيوانات السابحة والزاحفة في البحر، ولكن هناك عددا هائلا من الحيوانات الشديدة التباين لا تتحرك على الإطلاق أثناء حياتها البالغة؛ فهي تعيش حياة كسولة ساكنة، تاركة مهمة جلب الغذاء إليها لحركات المد والتيارات. وهناك أنواع من المحار. ومئات من الحيوانات الصدفية الأخرى لا تستطيع الحركة، هذا فضلا عن الإسفنجيات، والمراجين، وشقائق البحر Sea anemones [٨٧]، وكثير غيرها. فهذه الحيوانات ترشح أو تصفي الماء وتستخلص منه الكائنات العضوية الصغيرة، أو تقتنص صيدا أكبر بطرق عدة.

ويحتوي الماء على قليل من الحيوانات المناظرة للأنواع الكبيرة التي تقتات على الأعشاب كالأفراس، والماشية، والغزلان. ويرجع ذلك إلى أن أغلب المستعمرات النباتية الطافية التي تنمو في "مروج" المحيط تكون من النوع المجهري الذي تأكله الحيوانات الصغيرة جدا، وهذه بدورها تقتات عليها الحيوانات اللاحمة الأكبر حجما. فالدياتومات تأكلها حيوانات

([٨٧]) شقائق البحر، اسم يطلق على البوليبات التي لا تكون شعابا مرجانيا. وقد أطلق عليها هذا الاسم لأن أذرعها المبسوطة تكسبها هيئة الأزهار المعروفة باسم شقائق النعمان أو الأقاحين anemones. وهذه الحيوانات تثبت نفسها بالصخور، والأصداف. (المترجم)

صغيرة تعرف "بالكوبود"[٨٨] Copepods، وهذه تكون بدورها الغذاء الأساسي للرنجة، وكثير من الأسماك الأخرى، وحيتان البلين whalebone whals. ويمكننا تكوين فكرة عن الأعداد الهائلة لهذه المخلوقات الصغيرة، وحجمها الكلي، إذا عرفنا أن مصائد الأسماك في شمالي أوروبا الغربية اصطادت ٧.٥٠٠.٠٠٠.٠٠٠ رنجة في سنة واحدة. وهذا العدد – بالطبع – ليس سوى عدد ضئيل من أحد الأنواع العديدة من الأسماك التي تتغذى على الكوبود.

وهناك مثل آخر على وفرة الأحياء الطافية في الطبقات العليا من مياة المحيط أظهرته تجربة أجرتها بعثة "تشالينجر" لتحديد كمية كربونات الكالسيوم (الجير) الموجودة في أصداف الأحياء الصغيرة الطافية، فقد جمعت عينات من هذه الأحياء عن طريق سحب شبكة ضيقة العيون لها فتحة قطرها قدم. ثم غليت بمادة المجموعة من البوتاسا الكاوية، وغسلت، وجففت لاستبعاد كل شيء ما عدا الأصداف، ثم وزنت بعد ذلك، وقد دلت النتائج على أن كتلة الماء التي تبلغ مساحتها ميلا مربعا، وعمقها ٦٠٠ قدم، تحتوي على ستة عشر طنا من الأصداف في أحيائها الطافية.

وفي الفدان الإنجليزي، يستخرج نحو خمسة أطنان من المواد النباتية الرطبة في كل آكر (٤٠٤٧ متر مربع) من السطح كل عام. وهذا المحصول أوفر كثيرا مما تغله أخصب الأراضي إذ زرعت قمحا أو ذرة.

---

(٨٨) انظر الهامش المكتوب في صفحة ٥٩
(المترجم)

والحياة النباتية في البحر لا تنتمي كلها إلى مجموعة الأحياء السائبة (البلانكتون)، فهناك أحزمة من الأعشاب البحرية، تنمو حول قارات العالم وجزره وهذه الأعشاب لا بد أن تجد قاعا تتشبث به، وضوءا يتيح لها النمو، ولذلك فهي توجد أساسا حيث يقل عمق الماء عن ٦٠٠ قدم. وقد يصل طول عشب البحر الضخم Kelp[٨٩]، الذي ينمو بغزارة كبيرة فوق مساحات شاسعة على مقربة من الشاطيء إلى ٦٠٠ قدم. كذلك تحتوي المياة العذبة في البحيرات والأنهار على قيعان من الأعشاب تنمو أحيانا بدرجة من الغزارة تؤدي إلى سد القنوات، وإعاقة الملاحة بخطورة. وهناك مثلان معروفان جيدا لهذا الأعشاب، وهما: العيسلان المائي[٩٠] hyacinth الذي ينمو في الولايات المتحدة الأمريكية الجنوبية، والسدود النباتية التي تنمو في روافد النيل.

وقليل من النباتات البحرية هي التي يستسيغها الإنسان طعاما له، ومع ذلك فإن كتل الأعشاب الضخمة التي تنمو على طول الشواطيء وفي الأنهار الأمريكية لم تستغل بعد استغلالا اقتصاديا. والواقع أن الشهرة والثراء ينتظران من يستطيع ابتكار وسيلة للانتفاع بهذه الأعشاب، فهي مورد يكاد لا ينضب معينة، ومن السهل علينا أن نجني محصولها إذا عرفنا

---

(٨٩) كلمة kelp تعني الأعشاب البحرية المحروقة التى يستخرج منها اليود. وذلك بتجفيف الأعشاب في الشمس، ثم حرقها في حفر قليلة الغور، حيث يحصل على طن واحد من الأعشاب المحروقة من كل ٢٠ طنا من الشعاب الرطبة ثم تعامل الأعشاب المحروقة كيميائية، حيث يتصاعد اليود ويكشف. (المترجم)

(٩٠) نباتات من الأبصال تنتمي إلى العائلة الزنبقية Iiliaceae. تتميز بأزهار ناقوسية الشكل متنوعة الألوان. (المترجم)

كيف ننتفع بها. وربما تسنى لعبقري في المستقبل أن يهتدي إلى طريقة لاستخراج أحد النواتج القيمة من الأعشاب البحرية التي تنمو بتلك الوفرة على آلاف الأفدنة من المياة الضحلة التي تقع بين خط الجزر الطويل والساحل الرئيسي للولايات المتحدة. وإذا تم هذا، فلن يخشى حاصدو المحصول البحري من استنفاد "أراضيهم" الخصبة، المياه باستمرار ستجلب الأملاح المغذية من المحيط الذي لا ينضب، وتجرف التربة من الأرض، بتغذي المحاصيل المتعاقبة. كذلك لن يكون الحصادون بحاجة إلى عمليات الصرف، أو الخوف من الجفاف، كما أن أعتى الرياح وأقوى هبات البرد، لن تستطيع أن تمس محصول البحر بأذى.

وقد ظلت النباتات البحرية حتى الآن بسيطة وبدائية، فهي تتكاثر بالتفرع، أو الانشطار، أو قذف الأبواغ spores التي توزعها موجات المد والتيارات، ولم تجد هذه النباتات ضرورة لإنتاج الأزهار والثمار، وأنواع الجوز والحبوب التي تستخدمها لإغراء الحشرات والحيوانات على مساعدتها في التكاثر عن طريق حمل وتوزيع البذور وحبوب اللقاح. وتنمو في قاع البحار كثير من الكائنات التي تبدو كما لو كانت مجموعة من الشجيرات، أو الغابات، أو حتى الأزهار، فلها جذور، وسوق، وفروع كالنباتات تماما. ومع ذلك فهي تنتمي إلى الحيوانات، فهذه الفروع والسوق مجوفة، تنتهي قممها بأفواه، أما المظهر الزهري فيرجع إلى زوائد حساسة مصممة لاقتناص الكائنات العضوية التى تلتهمها. ومن أمثلة هذه الحيوانات، البوليبات المرجانية التي تبني تراكيب من الجير في أشكال لا حصر لها. ولا بد أن يتوافر لهذه الحيوانات المرجانية ماء رائق لا تقل حرارته عن ٦٨

درجة. وقد قامت هذه الحيوانات عن طريق كميات الكالسيوم الضئيلة الموجودة في مياه المحيط، ببناء الشعاب والجزر المرجانية الهائلة.

ولم تسع الحيوانات البحرية قط إلى تطوير أمخاخها، كما أن الأنواع الثابتة الحرارة (ذات الدم الحار) لم تنشأ في الماء أصلا. ذلك لأن الحيتان، والفقمة، وقليل من الحيوانات الأخرى، هي في الواقع حيوانات أرضية نزحت إلى البحر، وتخصصت بحيث تصلح للحياة في الماء. أما بقية الحيوانات البحرية فهي من ذوات الدم البارد (المتغيرة الحرارة) التي تتساوى حرارة أجسامها مع حرارة الماء الذي تعيش فيه، أو تعلو عنها بقدر ضئيل. ويبدو أن الدم الحار وتطور المخ يتمشيان جنبا إلى جنب. أما لماذا لم يتطور مخ أي حيوان بحري إلى درجة التي يمكن مقارنته معها بمخ أدنى الثدييات، فهذا ما لا نعرفه، ولا نظن أن هناك بأسا من أن يكون للحيوان مخ ذكي في الماء.

ومن السمات النموذجية للاختلاف بين الحيوانات والأرضية، أن الأسماك ما يربو على ١٠٠.٠٠٠ بيضة في كل موسم. أما الثدييات والطيور، فتفلت من الانقراض عن طريق استخدام أمخاخها، والعناية بصغارها. وعلى أن طريقة الأسماك في البقاء تبدو غير فعالة إلى حد ما، رغم أنها تدبير رائع ضد الحيوانات المولعة بأكل بيض هذه الأسماك. والواقع أن بعض المخلوقات البحرية تقوم في خلال حيادتها العادية بأعمال تبدو صعبة بدرجة لا تصدق، ولا يسعنا إلا أن نقف عاجزين عن فهمها. فأسماك السالمون وكثير غيرها من الأسماك تفقس في مجاري الماء العذبة، ثم

تجد طريقها إلى محيط، وهي لم تزل بعد صغيرة جدا، حيث تطوف فيه آلاف. وأخيرا تعود بعد ثلاث سنوات لتضع بيضها في مجرى الماء الذي فقست فيه. وهذا العمل يبدو أروع كثيرا من أي شيء يقوم به الحمام الزاجل، أو الطيور المهاجرة.

بل أن العمل الذي يقوم به الانكليس (ثعبان السمك) الأوروبي أكثر من ذلك غرابة وأصعب على الفهم، فهو يخرج من بيضه في بحر السرجس Sargasso sea، الواقع جنوب شرقي جزيرة برمودا، على هيئة يرقات شفافة ذات أسنان إبرية الشكل، وتعيش هذه اليرقات بالقرب من السطح، ولكنها سرعان ما تبدأ في رحلة تصل في حالة اليرقات التي تستطيع البقاء حية رغم أخطارها، إلى ثلاثة آلاف ميل أو تزيد، وذلك حتى إذا سارت في خط مستقيم نحو أهدافها في إنجلترا، أو الدنمارك، أو إيطاليا، أو أي مكان آخر تقريبا في أوروبا. وعندما تغادر هذه اليرقات أرض التنفيخ، يكون طولها نحو أربعة أعشار البوصة، ثم يزداد بعد سنتين ونصف السنة إلى حوالي ثلاث بوصات وهنا تقوم، وعندما تقترب من مصب أحد الأنهار العذبة أو الأخوار المتوسطة الملوحة، بتغيير شكلها اليرقي، فتفقد أسنانها الحادة، وتتحول إلى "الألور" Elvers، أو صغار الأنكليس التي تعيش في الأنهار، والبرك، والبحيرات، والخلجان فترة تتراوح بين أربع سنوات ونصف السنة وثماني سنوات، ثم يطرأ عليها تغيير آخر إذ تصبح أكثر امتلاء، وتكتسب لونا فضيا، وتبدأ في العودة ثانية إلى بحر السرجس، حيث تضع بيضها وتموت.

ولتحاول الآن أن نتخيل كيف تهتدي هذه الأسماك إلى طريقها في كلتا الرحلتين، والواقع أن العملية البيولوجية التي تدفع هذا السلوك وتوجهه ما زالت حتى الآن لغزا غامضا إلى حد كبير، وإذا ما قدر لنا أن نحل هذا اللغز تماما في وقت من الأوقات، فسوف يتسنى لنا معرفة الكثير من المعلومات الأخرى إلى جانبه.

وهناك أيضا الحبار cuttlefish، وهو حيوان لا فقاري، لم يصل حتى إلى مرتبة الأسماك، وليس له عقل أن يفكر فيها الإنسان بعدة مئات الملايين من السنين. وبهذه المناسبة، فقد اخترع أيضا حبر السبية Sepia الذي يستخدمه في تغميق لون الماء عندما يرغب في الإفلات من عدو، ولذلك ينبغي علينا أيضا أن ننسب إليه الفضل في ابتكار أول ستار من الدخان.

وإذا رجعنا إلى عقد مقارنة بين حجم الحيوانات الأرضية والبحرية لوجدنا بينهما تباينا شديدا. فمن بين الفقاريات يمكننا أن نقارن الأسماك التي تزن المائة منها أوقية بالحيتان التي يزن الواحد منها مائة طن، بنسبة قدرها ١: ٣٢٠.٠٠٠.٠٠٠ . ومن بين اللافقاريات يمكننا أن نأخذ جراد البحر الدقيق[٩١] Shrimps والأخطبوط الهائل الذين يبلغ طوله ثلاثين قدما وهو ممدود الأذرع. أما أصغر الفقاريات الأرضية فهو الطائر

([٩١]) حيوان دقيق من القشريات من نوع الجمبري.
(المترجم)

الطنان [٩٢] الذي يزن أقل من أوقية، وأكبرها الفيل. ولا توجد بالأرض حيوانات لا فقارية يمكن مقارنتها بتلك التي تعيش في المحيط. ويبدو أن الظروف السائدة في اليابسة جعلت من المستحيل أن يعيش فيها أي حيوان أكبر من السرطان ما لم يكن له سلسلة ظهرية.

وأكبر الأسماك التي تعيش في الوقت الحاضر هي أسماك القرش، ولكن ليس فيما بينها من يصل حجمه إلى حجم بعض أسلافها التي عاشت منذ فترة تتراوح بين خمسة عشر مليونا وعشرين مليونا من السنين، والتي انقرضت الآن، فأسماك القرش القديمة هذه كانت أكبر الأسماك التي عاشت على الإطلاق. إذ يبلغ طول بعضها ثمانين قدما. وأسماك القرش – بهذه المناسبة – أسماك غريبة للغاية، فهي بدائية إلى حد كبير. إذ ليست لها عظام، وانما لها غضاريف قوية ثقيلة فحسب. كذلك ليس لها الكيس الهوائي الذي تستخدمه أغلب الأسماك في تنظيم طفولها. وعلى الرغم من افتقارها إلى التحسينات التي اكتسبتها الأنواع الأخرى، فهي تشق طريقها في الحياة بنجاح كبير، وتواصل أكل غيرها من الأسماك الأحدث عهدا والأكثر تقدما في جميع البحار، وفي إحدى البحيرات العذبة[٩٣].

وهناك سمكة غريبة أخرى يجدر بنا أن نذكرها، وهي من نوع ربما كان النوع الأصلي الذي نشأت منه جميع الحيوانات التي تعيش على اليابسة،

---

(٩٢) سمي كذلك لأنه يصدر صوتا أشبه بالطنين عندما يخفق الهواء بجناحية وهو الطائر الوحيد الذي يستطيع الطيران إلى الخلف (المترجم)

(٩٣) في بحيرة نيكاراجوا، كيفت أسماك القرش نفسها لتعيش في الماء العذب.

بما فيها الإنسان، فبينما تمتص الأسماك الأخرى الأكسجين من الماء الذي يلامس خياشيمها، فإن الأسماك الرئوية (وهي الأسماك التي نحن بصددها) تستطيع أيضا الحصول عليه عن طريق إدخال الهواء فيما يمكن اعتباره رئة بدائية جدا، فالأسماك الرئوية الإفريقية تعيش غالبا في مياه الفيضانات التي تغمر البرك والمستنقعات. ولكن عندما تجف هذه، كما يحدث أحيانا بين الفصول المطيرة، تقوم هذه الأسماك بحفر أنفاق في الطين، وتتكور داخلها، تاركة في مدخلها فتحة هوائية صغيرة. فترقد في حالة سبات، حيث تتنفس الهواء، وتعيش على استهلاك ما اختزنته في جسمها من الدهن، إلى أن يعود الماء، ويمكن التنقيب عن هذه الأسماك، وشحنها على السفن دون إصابتها بأذى.

وقد تمكنت الأسماك الرئوية من مغادرة الماء، والرقاد على الشاطيء، والزحف حولها بمساعدة ذيولها وزعانفها، ثم أخذت الزيارات الأرضية التي قام بها بعض الأفراد الأكثر تقدما وميلا للمغامرة من هذه الأسماك تطول شيئا فشيئا. وبعد أجيال لا حصر لها، تطورت زعانفها إلى أرجل وأقدام، وأخذت تتميز إلى أنواع، ثم سكنت اليابسة.

وقد حدث خروج الحياة الحيوانية من البحر على هذا النحو منذ عدة مئات الملايين من السنين، ولكن الضفادع وبعض الحيوانات البرمائية الأخرى، لا بد لها أن تعود إلى الماء لتضع بيضها، كما أن أجنة الحيوانات الثديية تمر بمرحلة تظهر لها فيها فتحات خيشومية. وكلنا يعرف كمية الغذاء الهائلة التي نحصل عليها من الماء: من أسماك، ومحار ، وجمبري، وأبو

جلمبو أو الكابوريا. ولكن هل فكرت قط بعض المنتجات الأقل وضوحا التي ندينة بالفضل فيها للحياة البحرية؟

لقد استخدم أجدادنا القدماء زيت الحوت لإضاءة منازلهم، ولكن من أين جاء زيت النفط والغاز الطبيعي اللذان نستخدمهما في تدفئة منازلنا، والبنزين الذي يحرك سياراتنا؟ من الواضح أن كل ذلك جاء من الأرض. ولكن كيف وصل إلى هناك؟ الواقع أنه كانت هناك، منذ عصور خلت، بحار ضحلة كانت تحتوي على أعداد لا يمكن تصورها من الكائنات النباتية، أو الحيوانية، أو كليهما. وقد ماتت هذه الأشكال البدائية، ثم دفنت في رواسب غطيت، عندما هبطت المنطقة تحت الثقل المتزايد، بطبقة فوق طبقة من الرواسب الأخرى. وقد وجد النفط على عمق يتجاوز اثني عشر ألف قدما من سطح الأرض الحالي. ذلك لأن الضغط، والحرارة، والزمن، كل هؤلاء غيروا بقايا الحياة التي كانت موجودة في البحار القديمة إلى نفط، وغاز، وأسفلت. ونحن نستخدم هذه المنتجات في أغراض كثيرة، وبكميات هائلة لدرجة أننا بدأنا نفكر بقلق فيما سوف نفعله عندما تستنفد هذه المنتجات. وهذه مشكلة من أهم وأصعب المشاكل التي سيتعين على الأجيال المقبلة حلها.

وتستخرج الولايات المتحدة ٦.٠٠٠.٠٠٠ برميلا ٩٥٠.٠٠٠ طنا من البترول من الأرض يوميا. وينبغي أن نضيف إلى هذه الكمية انتاج الغاز الطبيعي، الذي بلغ، حسب التقارير الأخيرة، نحو ١٦.٥٠٠.٠٠٠.٠٠٠ قدما مكعبا (٤١٧.٠٠٠ طنا) في اليوم.

ولتحاول أن تتخيل عدد وحجم الكائنات الحية التي أوجدت هذه الخزانات من المواد العضوية. والواقع أن الخزانات التي تم الكشف عنها، وأصبحت الآن في متناول أيدينا، ليست سوى جزء ضئيل من الكمية التي أنتجت أصلا، ولكن الحقول المستغلة ستبقى، حتى بمعدل استعمالنا الحالي، لمدة أربعين عاما، وربما أطول كثيرا، هذا في الوقت الذي نواصل فيه العثور على مناطق جديدة للإنتاج.

وصخور الفوسفات من أهم مكونات الأسمدة التي تستعمل بكميات ضخمة لزيادة إنتاج المحاصيل الزراعية. وهذه الصخور، وبدورها، تقتطع من الأرض، ولكنها جاءت أيضا من الأحياء البحرية. وتوجد كثير من أسنان القرش في هذه الصخور. وذلك لأن أسماك القرش القديمة كانت تفترس هذه الأحياء، التي نستخدمها الآن كلما أكلنا حبوبا أو خضروات ساعدت أسمدة الفوسفات على إنتاجها.

والأرجح أيضا أن خام الحديد الذي نستخلص منه الحديد والصلب الذي شيد عالمنا الحديث يرجع إلى شكل من أقدم أشكال الحياة في الماء، إذ يبدو أن البحار القديمة التي عاصرت حقبة الأوليات (البروتوزوا) والتي شاهدت بدء الحياة كانت تحتوي على كميات هائلة من البكتيريا، أو غيرها من الكائنات العضوية الدقيقة، بالإضافة إلى كثير من الحديد الذائب في الماء. وكانت هذه البكتيريا تستخلص الحديد من الماء وتدخله في أجسامنا، حيث كان يتحول إلى شكل غير ذائب، ثم يرسب في النهاية في قاع البحر، حيث يصل سمكة في بعض الأماكن إلى عدة آلاف من الأقدام. وفي عصور

تالية، ارتفع قاع البحر فوق السطح، وتراجع البحر، ولكن خام الحديد بقي ليغذي أفران الصهر العالية التي تسيل من أفواهها المتقدة تلك المادة التي تعطينا إبرة، أو محور سيارة ، أو جسر "جولدين جيت"[٩٤] Golden Gate Bridge. والواقع أن زيت النفط، ورواسب الفوسفات، وخام الحديد، فضلا عن كثير من المواد الأخرى، إنما هي هبات، أو إرث بالأحرى، خلفتها لنا البحار القديمة، وأشكال الحياة النيئة التي عاشت فيها.

الحياة في الأعماق

إن إنتاج أنواع من الأحياء قادرة على الحياة والتكاثر في الأعماق السحيقة من المحيط – وهي الأعماق التي ظل الناس يعتقدون طويلا أن من المستحيل وجود حياة فيها – لهو من أروع النتائج التي حققها التطور. ويبدو هذا الاعتقاد القديم معقولا إذا أدركنا أن ضوء الشمس لا ينفذ البتة، حتى في أكثر أنواع الماء صفاء، إلى عمق يتجاوز ٣٠٠٠ قدما، كما أن الضغط (الذي يزداد بنسبة مطردة مع العمق) يتجاوز على بعد ميل تحت السطح طنا وربع طن على البوصة المربعة.

وتبلغ الحرارة على عمق يتجاوز ميلين، باستثناءات قليلة، بضع درجات فقط فوق نقطة تجمد ماء المحيط. فكيف إذن تبقى الحياة وتتكاثر

---

(٩٤) جسر فوق مضيق "جولدين جيت" بمدينة سان فرانسسكو بولاية كاليفورنيا الأمريكية وطول هذا المضيق خمسة أميال وعرضه يتراوح بين ميل وميلين، وهو يوصل خليج سان فرانسسكو بالمحيط الهادي، ويعد حاليا أطول جسور العالم. (المترجم)

في مثل هذه الظروف غير المحتملة؟.. لقد ثبت عندما حدث تطور كاف في الأساليب الفنية للصيد العميق بواسطة الآلات والشباك، وكذلك في التصوير الوميضي على أعماق سحيقة، أن هناك كائنات حية حتى في أقصى الأعماق التي تم استكشافها حتى الآن. والأرجح أن هذه الكائنات لم تتخذ الأعماق مأوى لها إلا بعد أن ازدحمت طبقات الماء الأعلى، التي كانت الحياة فيها أسهل كثيرا. ثم أخذت هذه الكائنات تزحف تدريجيا إلى أسفل، حيث كيفت أجسامها لتتلاءم مع الظروف الجديدة، وتغلبت على صعاب لا يمكن تصورها.

وهكذا فإن الكائنات السابحة قد استوطنت الماء طبقة بعد طبقة، وتسللت زاحفات القاع وحافراته، وآكلات الطين والجيفة، خطوة خطوة، من شواطيء القارات والجزر، ثم غابت في الظلام البارد.

وتتعرض أسماك البحار العميقة التي لها أكياس هوائية لخطر فريد في نوعه ذلك لأنها إذا فقدت سيطرتها على جهاز الطفو فيها لحظة واحدة، تبدأ في الصعود إلى أعلى، وسرعان ما تتعرض إلى تغير في الضغط قد يكون مميتا.

ولابد أن يأتي كل الطعام اللازم لحيوانات الأعماق من أعلى، فعندما تموت النباتات أو الحيوانات التي تعيش في الطبقات السطحية الآهلة بالأحياء، فإنها تشرع، هي أو أجزاء منها، في الهبوط إن عاجلا أو آجلا. وكلما كبرت هذه النباتات أو الحيوانات، ازدادت سرعة هبوطها بصفة

عامة. هذا المطور المنهمر من المواد العضوية الميتة، هو الغذاء الأساسي لجميع الحيوانات التي تعيش في الطبقات السفلى.

إذ تتغذي هذه الحيوانات على هذه المواد وعلى بعضها البعض، وقد حلت هذه المخلوقات مشكلة الضغط عن طريق إتاحة الفرصة له كي يتعادل داخل أجسامها. وقد أنتج كثير منها أعضاء تشع ضوءا تساعدها على الاهتداء إلى طعامها أو اجتذاب فريستها. ولكل مستوى من العمق سكانه الذين ينحصرون في مسافة رأسية ضيقة المدى. وهكذا تستمر الحياة في الأعماق الموحشة، الباردة التي لا تتغير.

الباب الثاني

الماء وحياة الإنسان

الفصل الأول

استخدام الإنسان البدائي والقديم للماء

بدأت الحياة في الماء، وظلت فيه مئات الملايين من السنين. أما اليابسة فكانت مجرد صخور، ورمال، وتربة عارية، قاحلة، مجدبة، على أن الحدود بين اليابسة والماء كانت تتغير باستمرار إذ كانت موجات المد ترتفع وتنخفض مرتين كل يوم. كما كان مستوى الماء في الأنهار، والبحيرات، والمستنقعات يرتفع وينخفض تبعا لاختلافات سقوط الأمطار، أو اتجاه الرياح وقوتها. وكانت هناك مناطق شاسعة تتعرض للأمطار أحيانا، وللجفاف أحيانا أخرى. وكان انحسار الماء يؤدي إلى ترك الألوف والملايين من الكائنات الحية، من نباتات وحيوانات، فوق الطين، والصخر كل يوم. وكان أغلبها يموت، ولكن بعضها كان يعيش حتى تعود المياة ثانية. ومن هذا البعض تطورت أنواع استطاعت أن تعيش خارج لمياة فترات أخذت تزداد طولا باطراد. وأخيرا أنتج التطور أنواعا استطاعت أن تعيش فوق اليابسة الجافة بصفة دائمة.

وكان هذا حدثا هائلا في تاريخ العالم، إذ كان يعني غزو الحياة لليابسة، وتعميرها لها بالعشب والغابات، والحشرات، والطيور، والحيوانات، وظهور الإنسان في النهاية، وسيطرته على أشكال الحياة الأخرى القديمة، واستخدامه واستغلاله لها. وكانت النباتات هي التي قادت

عملية غزو اليابسة هذه، إذ أن جميع الحيوانات تعيش على أكل النباتات، أو على أكل حيوانات أخرى تأكل نباتات. وهكذا يتضح أن عبارة: "كل اللحم عشب" ليست مجرد صورة مجازية فحسب، أما الحيوانات التي تعلمت كيف تعيش على اليابسة قبل مجيء النباتات فكان لا بد لها أن تعود إلى الماء لتحصل على غذائها. وأغلب الظن أن النباتات انتشرت فوق اليابسة بشكل كبير، وأنتجت كثيرا من الأنواع المتباينة قبل أن تظهر الحشرات والحيوانات فيها.

وعندما تمكنت الحيوانات آخر الأمر من حل مشكلة الحصول على الأكسجين عن طريق تنفس الهواء مباشرة، قامت بغزوة اليابسة، وانتجت ضروبا من الأنواع أشد تباينا إلى حد كبير مما أنتجته في الماء. واستمرت هذه العملية مئات الملايين من السنين. ولو كان هناك من يراقب عملية التطور الطويلة والبطيئة في الماء، وفوق الشاطيء، لاحظ كيف استطاعت الحيوانات فوق اليابسة أن تكيف نفسها حتى تتلاءم مع بيئتها الجديدة، ولأدرك لماذا استحدثت بعض الحيوانات طرقا وأساليب لحفظ وتنظيم درجة حرارة أجسامها، على حين لم تفعل الحيوانات المائية ذلك؛ لأن التفاوت بين درجات الحرارة في اليابسة كان أكبر كثيرا منه في الماء. (ولعلك تتذكر أن الحيتان وغيرها من الحيوانات الثابتة الحرارة – ذات الدم الحار – التي تعيش في البحر قد جاءت من اليابسة). على أن مثل هذا المراقب كان خليقا بأن يشعر بالحيرة، كما نفعل نحن الآن، عندما يرى أن حيوانات اليابسة قد كونت لنفسها أمخاخا أرقى بكثير مما كونه أي نوع من أنواع الحيوانات البحرية، إذ يبدو أن الحياة في الماء تحتاج إلى نفس المخ

النامي الذي تحتاج إليه الحياة على اليابسة. ومع ذلك، فإن أية سمكة أو سرطان (أبو جلمبو) أو أخطبوط لم يكون لنفسه قط مخا يضارع مخ الثدييات. ويمكن القول ببساطة أن الحيوانات البحرية لم تسع إلى الحصول على الذكاء، إذ أن أيا منها لم يقطع شوطا طويلا في الطريق الذي يؤدي – على مراحل تدريجية – إلى الابتعاد عن الغريزة، والاقتراب من الذكاء.

وأيا ما كان السبب، فإن البحر لم ينتج في ألف مليون عام أو يزيد أي عروس – أو عريس – من عرائس البحر [٩٥]، بل لم ينتج أي كائن له مخ وذكاء الكلب أو القندس [٩٦]. أما اليابسة فقد أنتجت، منذ مليون سنة تقريبا، جنسا ذكيا ذا عقل قوي منطلق ارتقى إلى الدرجة التي أتاحت له تصور عرائس البحر السالفة الذكر، واستخدام المعادلات التفاضلية والقنابل الذرية، واستمر البحر موطنا للغالبية العظمى من الكائنات الحية، ولكن ظروف الحياة على اليابسة أدت إلى التنوع والتخصص. وكان أوضح هذه التنوعات، وأهم هذه التخصصات هو ظهور الطاقة الذهنية للثدييات.

---

(٩٥) الاسمان لنوع من الحيوانات الخرافية التي تتناقلها الأساطير الشعبية. وهذه الحيوانات الشبيهة بالبشر تقطن، كما جاء في هذه الأساطير، البحار والأنهار، كما تستطيع الحياة أيضا فوق اليابسة حيث تدخل في علاقات اجتماعية مع البشر العاديين تكون نتيجتها وخيمة على هؤلاء. وعروس البحر في هذه الأساطير لها وجه وجسم امرأة على جانب كبير من الجمال حتى الخصر، أما النصف الأسفل فيتخذ جسم سمكة بزعانفها وحراشيفها وذيلها. (المترجم)

(٩٦) القندس أو كلب الماء حيوان برمائي قارض له ذيل عريش وفراء ناعم. (المترجم)

وقد ظهرت الثدييات في وقت متأخر من التطور، أما الإنسان فهو وافد حديث على الأرض. وقد اكتسب صفته الإنسانية هذه منذ وقت يتراوح بين خمسمائة ألف عام ومليون عام (حسب تقديرات الجيولوجيين، واستنتاجات علماء التاريخ الطبيعي، وتعريف كلمة "الإنسان") والإنسان كجميع أشكال الحياة الأخرى، يعتمد اعتمادا مطلقا على الماء، ولكن مخه قد مكنه، على العكس من الكائنات الأخرى، من أن يفعل أشياء كثيرة للماء وبالماء، وقد تناولنا في الفصول الأولى ما فعل الماء للعالم والحياة وما أنجزه من أجلهما، أما الآن ينبغي علينا أن نتناول ما فعله الإنسان، ويفعله، بالماء وللماء.

لقد كان الإنسان الأول يعيش على الأرجح كما كان سكان أستراليا الأصليون يعيشون عندما عثر عليهم الرجل الأبيض لأول مرة، ولكنه كان أكثر بدائية حتى من هؤلاء، فقد كان يأكل كل ما يستطيع العثور عليه واقتناصه (أما الإنسان الحديث فإنه يعثر على ما يستطيع أن يأكله) من: فواكه، ونباتات، وجذور، وحيوانات صغيرة، وضفادع، وسحالي، بل وحشرات وديدان. ولم يكن العصر الحجرى قد بدأ بعد، كما أن إشعال النار واختراع القوس كانا حدثين بعيدين في عالم الغيب، تما بعد ذلك بمائة ألف عام، وربما أكثر. وكان لا بد لهذا الإنسان أن يعيش بالقرب من الماء، إذ كان يفتقر إلى الوسائل اللازمة لنقله، ولم يكن يفكر فيه إلا على أنه شيء للشرب فحسب.

وكان أول كشف مهم للإنسان فيما يتعلق بالماء، منذ أن أخذ يرتقي الطريق الطويل الشاق حين كان في أقدم عهوده مخلوقا شبيها بالقرد حتى أصبح على أفضل صورة نستطيع العثور عليها في مدنيتنا الحالية، هو معرفته أن الماء يمكن نقله وتخزينه. وربما كان قد استخدم في ذلك صدفة محار، او ثمرة من ثمار القرع العسلي، أو جلد حيوان. وهذا يبدو عملا بسيطا للغاية، ولكنه كان خطوة مهمة إلى الأمام، إذ كان بداية لأشياء كثيرة. وقد تطلب هذا العمل تفكيرا بل تدبيرا وتخطيطا.

ومن الجائز أن الإنسان، بعد أن استخدم النار، قد تعلم أن يصنع سلالا من القش أو البوص. ولكن هذه السلال لم تكن تحتفظ بالماء. ففكر عبقري بدائي في تبطين إحداها بالطين، وهكذا أصبح لديه دلو يستطيع نقل الماء فيه. وذات يوم، تركت هذه السلة المبطنة قريبة جدا من نار موقدة أو سقطت فيها عفوا. فاحترق البوص الجاف، على حين تيبس الطين وجف. ووجد صاحب هذه السلة أن الطين المحروق أصبح أقدر كثيرا على الاحتفاظ بالماء أو الحبوب، وأن من الممكن استخدامه في الطهي. وهكذا ظهر فن الخزف، وصناعة الفخار بأسرها إلى عالم الوجود.

السفن القديمة والبحارة القدماء:

بعد أن تعلم الإنسان نقل الماء وتخزينه، مضت فترة طويلة، على الأرجح، لم يتعلم خلالها عن استخدمه إلا القليل. ثم ظهر عبقري بدائي، كان متقدما على أفراد قبيلته في القدرة الذهنية بنفس القدر الذي كان

"نيوتن" أو "بنجامين فرانكلين" متقدمين به على عصرهما وجيلهما، وفكر في ربط كتلتين من الخشب معا بواسطة ألياف بعض الكروم أو النباتات الزاحفة ليصنع منهما رمثا (عائمة)، أو في تجويف كتلة خشبية بواسطة بلطة حجرية ليصنع منها زورقا. كان بذلك أول بناء للسفن. ثم صنع مجدافا فأصبح أول ملاح أيضا[٩٧].

وكان هذا الحدث خطوة هائلة إلى الأمام: إذ أصبح بوسع الإنسان الآن عبور الأنهار والبحيرات التي كانت حواجز لا يمكن اجتيازها. وهكذا استطاع التجديف على طول الشاطيء بسهولة أكبر كثيرا مما كان يستطيع بها شق طريقه عبر الأدغال المتشابكة. كما استطاع نقل الأحمال التي كانت أثقل من أن يحملها على ظهره. وانفتح لطريق أمامه للاستكشاف، والتجارة، والحرب مع القبائل البعيدة. وازداد تقدم الحضارة كثيرا لأن رجال القبيلة عرفوا أوجه النشاط التي تقوم بها القبيلة الأخرى التي تقطن عبر البحيرة القبيلة عرفوا أوجه النشاط التي تقوم بها القبيلة الأخرى التي تقطن عبر البحيرة أو أسفل النهر – فعرفوا مثلا كيف تصنع تلك القبيلة أقواسا أو مصائد أفضل – وفي مقابل ذلك كانوا يعطونها أواني خرفية أو منسوجات أفضل. كل ذلك عمل على توسيع الآفاق وتنمية الأفكار.

---

(٩٧) وجدت زوارق مجوفة مصنوعة من كتلة خشبية واحدة من بين آثار العصر الحجري التي خلفها سكان "البحيرة السويسرية" القدماء. وقد صنعت مثل هذه الزوارق من الأشجار التي توجد في المستنقعات في أيرلندا وعلى ضفاف الأنهار في إنجلترا وأسكتلندا. كما شاع استخدامه بين البدائيين في جميع أرجاء العالم.

وكان لا بد أن يفكر عبقري آخر، عاجلا أو آجلا، في استخدام الريح لتحريك قاربه. والأرجح أن القلوع الأولى كانت مجدولة من لحاء الأشجار أو من بعض الألياف النباتية المتينة. وأيا من كانت المادة التي صنعت منها هذه القلوع، فقد أدت إلى توفير قدر كبير من الجهد، وكانت بالفعل شيئا جديدا بالنسبة إلى العالم؛ إذ كانت هذه أول مرة يستخدم فيها الإنسان إحدى قوى الطبيعة للاستعاضة بها عن القوة التي يبذلها بواسطة عضلاته ذاتها، ولتوفير قوته هذه. أصبح بوسعه الآن استخدام سفن أكبر والقيام برحلات أطول.

واستمر الإنسان، بعد أن قام ببناء عائمته البدائية الأولى ونشر شراعه الصغير لأول مرة، يتقدم ويبتكر. فالزورق ذو الأشرعة الثلاثة أو الأربعة bark، والزورق ذو الأشرعة الناتئة (outrigger)، والمرساة، والمجداف ذو الركيزة، والسارية التي تثبت الشراع، والحبال المتينة، وبكرات لف الحبال، والدفة، كل ذلك ساهم في سيادة الإنسان على الماء من أجل الاستكشاف، والانتقال، والتجارة، والحرب. وهكذا أخذ الماء الذي كان حاجزا لا يمكن اجتيازه، يتحول إلى طريق تستطيع بواسطته الجماعات المغامرة من الرجال أن تجوب أراض مجهولة، وتزور شعوبا غريبة، ثم تعود وقد جلبت معها فواكه، وحبوبا، ومنسوجات، وخبرات جديدة، وكذلك روايات عجيبة عن كل ما رأوه وسمعوه، وقاسوا منه.

وهكذا ظهر نوع جديد من الرجال: رجال النهر، رجال الماء، رجال البحر، وتطورت السفن لتصبح أكبر وأقوى، وأسلسل قيادا. وبحلول عام

٢٠٠٠ قبل الميلاد، كانت هناك سفن كبيرة ذات أشرع ومجاديف معا تقوم برحلات طويلة للتجارة، والاستكشاف، والحرب، وكان البحارة الأوائل وسطا بين القراصنة والتجار. فأحيانا كانت الشعوب التي يزورونها في الشواطيء البعيدة تستقبلهم بالترحاب، وتتبادل معهم السلع والأفكار. وأحيانا كانوا ينهبون المدن ويفرون حاملين معهم العبيد والأسلاب. وأحيانا كانوا يعثرون على سواحل أو جزر لا يعيش فيها أحد، ويستوطنونها. وأحيانا أخرى كانت تتحطم بهم السفن على الشواطيء أو الجزر، فيستوطنونها رغم أنوفهم.

والواقع أن الرغبة في الاستكشاف، والترحال، والمتاجرة إنما هي رغبة متأصلة في الطبيعة البشرية. كما أن الحاجة إلى العثور على مواد غذائية إضافية في الماء أو فيما وراء حدود الماء، أو على أراض بكر يهاجر إليها الفائض من السكان في المناطق المزدحمة التي ينقصها الغذاء الكافي، هذه الحاجة قد دفعت الناس في جميع العصور وفي جميع البلدان البحرية إلى عبور البحار. وليست الجزر المتناثرة في البحر المتوسط المحصور بين حدود من اليابسة هي وحدها التي استوطنها أناس جاءوا إليها على متن سفن صغيرة بدائية قبل فجر التاريخ، بل لقد استوطن هؤلاء أيضا تلك الجزر المتناثرة في الأرجاء الهائلة الموحشة بالمحيط الهادي.

وهكذا نرى أن الإنسان في جميع أرجاء العالم قام – بما توافر له من المواد وبحسب مهارته وذكائه – ببناء سفن متعددة الأنواع: زوارق لحاء

التامول[٩٨] التي بناها هنود أمريكا الشمالية، وزوارق الكتل الخشبية المجوفة التي انتشرت في أمريكا وإفريقيا، وطوافات خشب "البلسا" [٩٩] المستخدمة في بيرو، والزوارق ذات الأشرعة الناتئة التي انتشرت في المحيط الهادي، وزوارق الإسكيمو (الكياك kayak) المصنوعة من الجلد، وسفينة "الجنك" junk الصينية، وسفن "القادس" galleys الطويلة الضيقة التي اشتهرت بها أهالي البحر المتوسط، وسفن "القادس" الإسكندیناوية المكشوفة. على متن هذه السفن سعى الناس إلى الرزق، ونشدوا المغامرة في البحار.

لقد استمر جوابو البحار، طوال آلاف السنين، دون مساعدة البوصلة أو المزولة، يمخرون عباب بحار بلا خرائط، تحيط بها شواطيء لا منارات بها. ولم يكن لديهم ملابس واقية من الماء بالمعنى المفهوم الآن لتدرأ عنهم المطر والرذاذ المتناثر من الماء. أما الوسائل المتوافرة لديهم لحمل الطعام وحفظه فكانت رديئة إلى أبعد حد. وكان المجدفون يكدحون وهم يضربون الماء بمجاديفهم الثقيلة. لقد كان هذا عملا شاقا عندما يكون البحر هادئا، أما عندما يرتفع البحر وتتلاعب الأمواج بسفنهم

---

(٩٨) أشجار تنتمي إلى جنس البتولا، وتنتشر في غابات نصف الكرة الشمالي وتمتاز بلحاء أملس وفروع دقيقة. وهناك نوع من التامول يوجد في أمريكا ويتميز بلحاء أبيض يصنع منه الورق والزوارق. (المترجم)

(٩٩) أشجار توجد في أمريكا الوسطى. تستخدم أخشابها الخفيفة جدا (التي تعرف أيضا بالخشب الفليني) في بناء الطائرات، وفي صنع زوارق وأطواق النجاة، وفي أغراض العزل الحراري. (المترجم)

الصغيرة، فإن التجديف يصبح عملا على أقصى درجة من الصعوبة والإرهاق.

وفي جميع أرجاء العالم كان الملاحون يتعرضون للبرد، والبلل، والجوع في كثير من الأحيان، من أجل فض قوتهم وقوة احتمالهم على جبروت البحر وأهواله. وإذا لم تكن قد قرأت "الأوديسا" حتى الآن، فافعل ذلك توا. فهي أول رواية وأعظم قصة عن البحار وصلت إلينا من العصور القديمة. وهي ترسم لك صورة للطريقة التي كان يعيش بها رجال البحر المتوسط ويحاربون في الماء، وإذا ما استطعت أن تعي جوهر هذه القصة الرائعة التي رواها الناس وأحبوها طوال آلاف ثلاثة من السنين، فإنك ستقرأها أكثر من مرة.

وقد قيل "لهيرودوت" المؤرخ الأغريقي القديم، عندما زار مصر أن الفرعون "نيخو" (حوالي عام ٦٠٠ ق.م) أرسل أسطولا من السفن الفينيقية يسير جنوبا في البحر الأحمر وأصدرت إليه أوامر بألا يعود ثانية حتى يدور حول إفريقيا وبعد رحلة استغرقت ثلاث سنوات توقفوا خلالها عدة مرات ليزرعوا محاصيل الحبوب ويحصدونها، عادوا ثانية عن طريق "أعمدة هرقل" (مضيق جبل طارق). ولكن هيرودوت ارتاب في صحة هذه القصة لأن البحارة ذكروا أنه في الوقت الذي مرت يه السفن، التي كانت تبحر غربا، بجوار أقصى نقطة جنوبية في إفريقيا، كانت الشمس عند الظهيرة على يمينهم. والواقع أن هذه الظاهرة كانت تبدو مستحيلة بالنسبة إلى الإغريق القدماء الذين كانت خبرتهم محصورة في الظروف

السائدة شمال خط الاستواء. أما بالنسبة إلينا الآن، فإنها أقوى دليل على أن الرحلة قد حدثت بالفعل.

وقد أدت رغبة الشعوب القديمة في الحصول على السلع الغريبة التي كانت تنتجها البلدان الأخرى، واستعدادهم لدفع أثمانها، إلى نمو التجارة وازدهارها. وكان البحارة على استعداد للمخاطرة بالأرواح وتحمل المشاق من أجل جلب هذه السلع إلى الأوطان، وكما قال الشاعر كبلنج:

جرد الملك سليمان أساطيله

رغبة منه في الحصول على

الطواويس، والقرود، والعاج

من طرسوس إلى صور

ونحن نعرف عن سفن البحر المتوسط القديمة أكثر جدا مما نعرفه عن غيرها من السفن، وذلك بسبب المخطوطات التي خلفها لنا الإغريق والرومان. وقد كان البحارة الفينيقيون، في أيام عظمتهم، أجرأ الملاحين وأكثر المستكشفين إقداما فإلى جانب دورانهم بحرا حول إفريقيا، كما هو مرجح، كانوا أول من غادر البحر المتوسط واندفعو قدما في اتجاه سواحل الأطلنطي الشمالية، بل أنهم أقاموا مراكز تجارية في الجزر البريطانية وأحضروا من هناك القصدير الذي كانوا في حاجة كبيرة إليه لصناعة البرونز.

وقد أطلق الفينيقيون على أحد مواقعهم التجارية على ساحل أيرلندا الجنوبي اسم "بعل تيمور" – أي مواع "بعل"، وهو اسم إلههم الأكبر. وتحول اسم هذا الموقع في النهاية إلى "بلتيمور" في اللغة الإنجليزية، وهكذا أصبح لدينا أمريكا.

كذلك كان من الطبيعي أن يتجه الإغريق إلى البحر، وذلك بسبب سواحلهم الهائلة التي تضم كثيرا من الموانئ الصالحة للملاحة، وكذلك بسبب المساحة الصغيرة نسبيا من الأراضي الزراعية في بلادهم. وهكذا تاجروا مع المستعمرات المنتشرة في أرجاء البحرين المتوسط والأسود، وثبتوا أقدامهم فيها. وفي عام ٣١٥ ق.م، أقلع "بيثياس" pytheas بسفينة إغريقية ودار بها حول بريطانيا.

وقد مارس الفينيقيون والإغريق عملية التأمين البحري. فقد نص قانون البحار الروديسي (نسبة إلى روديس) الذي وضع قبل عام ١٠٠٠ ق.م على أن يكون التأمين على شحنات السفن آليا: فإذا ألقيت بضائع في البحر لتخفيف حمولة السفينة، فإنك هذه البضائع التي ضحى بها من أجل الصالح العام لا بد أن تعوض عن طريق مساهمة مشتركة تفرض على أصحاب الشحنات الذين حفظت ممتلكاتهم.

وقد وصف "ديموشنيس" Demosthenes الخطيب الأثيني، كيف كان الإغريق يقومون بالتأمين البحري في حوالي عام ٣٤٠ ق.م. ففي عشية الرحلة، كان الملك يقترض من أجل سلامة سفينته وبضاعته مبلغا

من المال بنسبة عالية من الفوائد تتراوح بين ٢٢.٥ و ٣٠%، وتدفع نقدا، فإذا تمت الرحلة بأمان، يقوم المقترض بإعادة مبلغ القرض. أما إذا فقدت السفينة، فإنه لا يدفع شيئا ويحتفظ بالقرض، ويخرج المقرض صفر اليدين فيما عدا الفائدة، التي يمكن أن نطلق عليها اليوم اسم قسط التأمين. وليس هناك في الواقع سوى اختلاف طفيف بين هذا النظام والنظام الحديث الذي نمارسه. فقد كان قسط التأمين أكبر منه الآن نظرا إلى زيادة المخاطرة التي كان يتعرض لها البحارة الأقدمون. كما أن نظام التأمين الحديث أكثر ملاءمة لأنه ليس من الضروري فيه أخذ القرض الأصلي ثم إعادته في حالة عدم حدوث خسارة.

وهناك فائدة أخرى للماء اهتدى إليها القدماء، ألا وهي قياس الوقت وربما كانت الساعات المائية قد نشأت أصلا في مصر، وكان الإغريق والرومان يطلقون عليها اسم "كليبسيدرا" clepsydra (أي الساعة المائية)، ويستخدمونها في تحديد الخطب التي تلقى في ساحات المحاكم، وهي فكرة وجيهة حبذا لو طبقت اليوم! ومن هذا الاستخدام للساعات جاءت عبارات: "يحافظ على الماء to give water و"يضيع الماء" to waste water، التي تشير إلى الخطباء الذين كانوا يحافظون على الوقت أو يضيعونه. وكانت الساعات المائية مجرد أوان فخارية ذات سعة معروفة وثقوب صغيرة في القاع. وكان العيب الأكبر في دقة هذه الساعة هو تناقص معدل التدفق كلما هبط الماء. ويمكن تصحيح هذا العيب بإضافة الماء حتى يحتفظ بمستوى ثابت، وقياس الماء المنصرف، أو

بجعل المقطع العرضي للإناء أكبر في قمته منه في قاعه، وهو الحل الأنسب. وكانت هناك ساعة مائية في الإسكندرية حوالي عام ١٣٥ ق.م.

وقد استمر استخدام الساعات المائية في بعض البلدان حتى اكتشف "جاليليو" أن الوقت الذي يستغرقه بندول ذو طول معين لإكمال ذبذبة يكون ثابتا، سواء أكانت الذبذبة طويلة أم قصيرة. وأدت هذه المعرفة إلى ضبط الساعات التي تدور بالأثقال أو الزنبرك بطريقة دقيقة يمكن الاعتماد عليها.

وقد تعلم الرومان بناء السفن على الرغم من أنهم لم يكونوا شعبا بحريا. ويرجع إليهم الفضل في إحراز أول نجاح حقيقي في تحريك الزوارق بواسطة القوة الآلية، التي تتميز عن الأشرعة أو التحريك اليدوي بواسطة الأخشاب أو المجاديف: ذلك لأنهم قاموا في عام ٢٦٤ ق.م، بتسيير السفن عبر مضيق مسينا، بين إيطاليا وصقلية، بواسطة عجلات تجديف تحركها الثيران. والواقع أن السواقي التي تديرها الحيوانات قد استخدمت في تسيير السفن في كثير من العصور والأماكن حتى جاءت المحركات البخارية لتعفي المجدفين المنهكين فوق المقاعد والحيوانات في السواقي.

وينبغي علينا الآن أن نعود إلى العصر الحجري لنرى ما هي الفوائد الأخرى التي وجدها الإنسان البدائي في الماء إلى جانب تسيير عواماته وزوارقه على صفحته. والأرجح أنه لم يتجاوز مرحلة الزوارق هذه أثناء العصور الطويلة التي كان يعيش فيها على الصيد أساسا. بل أن استخدامه

للماء، باستثناء الشرب، كان قليلا حتى بعد أن استأنس بعض الحيوانات النافعة، وأصبح صائدا، أو راعيا، أو الاثنين معا. والصائد والراعي يعيشان عيشة البداوة عادة: الأول يسعى إلى القنص، والثاني إلى العثور على مراع جديدة لقطعانه. ونحن نعرف أن كمية الأمطار هي التي تحدد نوع الحياة التي يحياها الناس. وهذا ينطبق بصفة خاصة على الرعاة، الذين يتعين عليهم، عندما تشح الأمطار، أن يسوقوا قطعانهم فوق مساحات شاسعة من الأراضي بحثا عن الكلأ، الذي تتوقف حياتهم عليه. ولذلك فهم يعيشون في خيام، على أهبة الرحيل دائما.

وأخيرا بدأت بعض القبائل التي تسكن مناطق ملائمة تزرع وتجني الحبوب وغيره من المحاصيل. وكان معنى هذا تغييرا كبيرا في طريقتهم في الحياة: إذا كان معناه استقرارهم. ومن بين التغييرات الأخرى التي أحدثتها الزراعة السكن الدائم، وبناء مسكن ثابت، والاحتفاظ بقطعة معينة من الأرض تعد ملكا شخصيا. وأخذ الناس يتخصصون في أعمالهم: فكان منهم الصيادون، والرعاة، والفلاحون. ونمت القرى إلى مدن مع تطور التجارة والصناعة اليدوية وكان سكان هذه المدن صناعا، أو عمالا، أو تجارا، أو عبيدا. وقد ظهرت أولى الحضارات في هذه المدن في وديان النيل، ودجلة والفرات، والهندوس، وغير ذلك من المناطق الخصبة الملائمة التي يتوافر لها الماء من الأمطار أو الأنهار.

وما أن بدأ الناس يزرعون المحاصيل حتى اهتدوا إلى فائدة جديدة للماء على درجة كبيرة من الأهمية. إذ أخذوا يدركون أنه لولا الماء لما نما

شيء على الإطلاق، وأنهم لا يحصلون على محصول وفير دون أن تتوافر لهم كمية مناسبة منه. ولما كانت الباتات لا تستطيع أن تذهب بنفسها لتحصل على الماء، فقد كان من الضروري أن يجلب الفلاحون إليها الماء في الأوقات والأماكن التي يشح فيها سقوط المطر.

والأرجح أن أول وسيلة للري كانت هي نقل الماء من الجداول بواسطة أواني القرع العسلي. ومع تطور الفلاحة، بدأ الناس يحفرون المجاري لتوصيل الماء، ثم يبنون السدود لتخزينه لتحويل اتجاهه. وتطلعك الموسوعات على أن سكان مصر والعراق قاموا ببناء أول السدود والقنوات المائية. ولا شك أن هذه المعلومات خاطئة تماما. فقد قام القندوس (كلب الماء) باختراع وبناء السدود والقنوات قبل أن يفكر فيها الإنسان بوقت طويل، ولا يزال يقوم بعملية البناء هذه حتى الآن. فالسدود تؤدي إلى تكوين برك تستطيع كلاب الماء أن تبني فيها مساكن تأوي إليها لتأمن أذى الذئاب وغيرها من الحيوانات المفترسة. ثم تقوم بحفر قنوات تستطيع أن تطفو عن طريقها على سطح الماء، وتسحب فروع الشجر بعد أن تسقطها في بركها، وتختزنها في مساكن لتتخذها غذاء في الشتاء. والفرق بين كلاب الماء والإنسان هو أن كلاب الماء كانت متقدمة علينا في الأعمال الهندسية الأولى، ولكنها لم تدخل تحسينات على أساليبها الفنية وطرائقها في بناء السدود وحفر القنوات.

والأرجح أن أولى السدود والقنوات التي بناها أسلافنا لم تكن أفضل من تلك التي بنتها كلاب الماء الكادحة، ولكن الإنسان واصل تحسين

أساليبه وتقدمه، إلى أن أصبح في استطاعته أن يفخر بسد "بولدر"[١٠٠] Boulder Dam، الذي يبلغ ارتفاعه ٧٠٠ قدما، ويكون بحيرة صناعية طولها ١٣٠ميلا، وبقناة "بناما" التي ترفع فيها السفن التي تبلغ حمولتها ٤٥.٠٠٠ طنا من محيط إلى آخر عبر سمك منها يبلغ ارتفاعه ١٤٥ قدما فوق مستوى سطح البحر. كل هذا يدل على أن الانتفاع الأكبر من اختراع ما، يكمن في التحسينات التي تدخل على هذا الاختراع، لا في فكرته الأصلية ولكن ربما كان كلاب الماء يفكرون على النقيض من ذلك.

وقد كان الماء على الدوام واحدا من أعظم مصادر الإلهام للهندسة العملية، كما أن جميع أنواع المهندسين تقريبا لا بد لهم أن يتناولوا جانبا أو آخر من جوانبه؛ فالمهندسون تقريبا لا بد لهم أن يتناولوا جانبا أو آخر من جوانبه: فالمهندسون المدنيون يقومون ببناء الجسور والقنوات، والمهندسون الميكانيكيون يختصون أساسا بعمليات ضبط البخار واستغلاله لإنتاج الطاقة، أما مهندسو الكهرباء والري فيباشرون عمليات ضبط الفيضان والمشروعات الكهربية المائية. والأرجح أن جميع الأعمال الهندسية هذه بدأت في مصر القديمة، ولا عجب في ذلك؛ فمصر هبة النيل، والنيل حياتها، فمن الشرق، والغرب، والجنوب لا يحدها سوى الصحراء، أما من الشمال فهناك البحر. والأمطار لا تكاد تسقط عليها، ولذلك فإن

---

(١٠٠) هذا هو الاسم السابق الذي كان يطلق على سد "هوفر" الحالي. وهو يقع على نهر كولورادو على الحدود الفاصلة بين ولايتي نيفادا وأريزونا الأمريكيتين، ويعد من أكبر سدود العالم، إذ يبلغ ارتفاعه ٧٢٧ قدما، وطوله ١٢٨٢ قدما. وقد بني في الفترة ما بين عامي ١٩٣١ و١٩٣٦.
(المترجم)

الأراضي التي تستطيع الحصول على الماء من النيل هي وحدها التي يمكن ألا تكون صحراء.

ويمتد وادي النيل على هيئة شريط أخضر ضيق عبر ألف ميل من الصحراء الصفراء أو البنية المكونة من الصخور والرمال، ثم ينتشر على هيئة مروحية مكونا الدلتا التي بناها النهر إلى مسافة بعيدة داخل البحر المتوسط. وينساب الماء ببطء عبر الدلتا في عدد من المجاري. وفي كل عام، يرتفع النهر العظيم، ويغمر الأرض بالفيضان. وعندما يهبط يكون قد ترك راسبا من الغرين الناعم الخصب الذي جلبه من إفريقيا الوسطى، كما يترك كذلك في الأرض ماءً يكفي لزراعة المحاصيل.

وكان من أثر هذا الفيضان السنوي للأراضي الزراعية أن أصبحت الأسوار التي تفصل بين قطعة أرض وأخرى غير عملية، وطمست معالم الحدود بينها، ونتيجة لذلك نشأت مهنة قياسي الأراضي، أو الجيومتريين كما أطلق عليهم الإغريق – ومن ثم نشا لفظ "جيومتري"، أي الهندسة. وكان هؤلاء الرجال خبراء في إعادة تثبيت الحدود على ما كانت عليه، فكانوا بذلك أول مساحي الاراضي. وتحاول مصلحة السواحل والمساحة الأمريكية الآن حث موظفيها على استخدام بعض المعلومات التي كان يعرفها مساحو مصر القديمة.

وقد استغل سكان وادي النيل منذ أقدم العصور الفيضان الذي يأتي لهم بالخصب والنماء إلى أبعد حد، وذلك بشق القنوات التي تجلب

المياة إلى حقولهم، وبناء السدود الترابية التي تحجز هذه المياه. كذلك كان النيل أفضل طريق يخترق الأراضي الضيقة من أقصاها إلى أدناها، ولذلك كان المصريون القدماء من أبرع بناة السفن الأوائل.

وقد بنى أحد ملوك مصر القديمة قناة لتنقل سفنه من النيل والبحر المتوسط إلى البحر الأحمر، وكانت هذه القناة الضخمة الأولى، كقناة السويس الحديثة، معبرا مائيا يتساوى سطحها مع سطح البحر. ومنذ ذلك الوقت أخذ الناس يبنون القنوات. ففي عام ٦٦ بعد الميلاد، بدأ "نيرون" إمبراطور روما، في شق قناة خلال صخور برزخ "كورينث" الصلبة في اليونان. ولكنه لم يتمها، كما حدث في عدد من مشروعاته الأخرى، وإن كان ما أنجزه منها قد أدمج في القناة الكورنثية الحديثة التي بنيت بين عام ١٨٨٢ و ١٨٩٣.

وفي الوقت الذي كان فيه البعض يتعلمون كيفية بناء سفن أكبر وأفضل، كان آخرون يقومون بتحسين وسائل الري، وشيئا فشيئا، استحدثت طرق لتوصيل مزيد من الماء بمجهود أقل. وكان لا بد أن يأتي العبقري الذي يبني سدا ليرفع مستوى الماء ويجعله يصل إلى الحقول، وكذلك لتخزين هذا الماء. ومن هذا السد، حفرت قنوات لنقل الماء إلى أراض تقع في مستوى منخفض بالنسبة إلى النهر، وتبتعد عنه مسافات طويلة.

وبعد ذلك قام عبقري آخر، أو ربما رجل كسول جدا تعب من نقل الماء وكان يعيش على نهر أكبر من أن يبنى فوقه سد (إلا بالكلام) [١٠١]، باختراع عجل رفع المياه (الساقية). وقد اتخذ هذا الاختراع أشكالا وأسماءً عديدة في البلدان المختلفة. وهو يستخدم عادة عندما يكون النهر على مسافة لا تتجاوز بضعة أقدام أسفل الحقول. وتحمل العجلة (الساقية) عددا من الدلاء. ومع دورانها، تنغمس هذه الدلاء في النهر وتحمل منه الماء، ثم ترتفع وتفرغ ماءها في حوض يوصل إلى قناة لري الحقول. وكثيرا ما كانت العجلات المائية تدار بواسطة ثيران يدورون في السواقي المتحركة، وأحيانا بواسطة تيار النهر نفسه. ولا زالت هذه العجلات مستعملة حتى اليوم، وتستطيع كل واحدة منها أن تروي عددا من الأفدنة يتراوح بين خمسة وخمسة عشر فدانا، ويبلغ أقصى مدى ترفع إليه الماء عادة نحو ثمانية عشر قدما، وإن كانت بعض العجلات التي ما زالت تعمل في سوريا تستطيع رفع الماء إلى ستين قدما. وقد كان "قلاووظ أرشميدس" (الطنبور) – الذي سمي كذلك تخليدا لذكرى أرشميدس، الذي يمكن وصفه بأنه "أديسون" سيراكوزة القديمة – كان السلف البعيد للمضخة الدوارة الحديثة. وقد استخدم هذا الطنبور أيضا في الري. وكان يتكون أساسا من عمود للتدوير داخل ماسورة يحمل مجرى حلزونيا يشبه سن القلاووظ

([١٠١]) التعبير الإنجليزي الأصلي في هذه الجملة هو: a river too large to dam (excepmt verbally والمؤلف هنا يستخدم كلمة dam to على طريقة الجناس، بحيث تعني "بناء سد النهر" وكذلك "لعنة" dam to ولهذا أضاف عبارة "إلا بالكلام"، أي أنه لا يستطيع، لكسله، لا أن يلعن النهر، هذا بالإضافة إلى المعنى الأصلي، وهو أنه لا يستطيع بناء سد فوقه. وكلمة dam و damn لهما في الإنجليزية نفس النطق. (المترجم)

الخشن المرتفع جدا. وعندما كانت الماسورة توضع في الماء، يدار العمود، كان الماء يندفع خلال الماسورة. والواقع أن هذا المبدأ مستخدم اليوم على نطاق واسع في الآلات التي تستخدم في إعداد أنواع كثيرة من المواد، ويمكن ملاحظته في "مفرمة" اللحم المنزلية. وربما أوحى هذا الابتكار القديم على "أريكسون" باختراع المحرك، واليوم نرى أن بعضا من أضخم مضخاتنا المستعملة في الري والصرف من النوع الذي يدور بمحركات.

وقد قامت مصر والعراق في العصور القديمة بمشروعات ري ضخمة، فقد كتب "حمورابي" ملك بابل، منذ نحو أربعة آلاف سنة، يقول: "لقد جلبت الماء، وجعلت الصحراء مزهرة". ومن سوء الحظ أن سكان هذه الوديان الخصبة الذين جاءوا بعد ذلك لم يحافظوا على القنوات وغيرها من مشروعات الري التي أقامها "حمورابي" ومن جاءوا من بعده، إذ كان تشغيل وصيانة هذه المشروعات القديمة مستحيلا بسبب الحروب والغزوات المستمرة التي قام بها أناس لم يكن لديهم اهتمام بالزراعة. وهكذا عادت الحقول إلى الصحراء ثانية، وجاع الفلاحون، وبيعوا في أسواق العبيد، أو أصبحوا بدوا رحل.

ومن أكبر الصعوبات التي تعترض عمليات الري أن الخزانات والقنوات تميل إلى الامتلاء بالغرين الذي يحمله الماء. ولذلك أخذ الفلاحون في بابل، طوال قرون عديدة، يقومون بتنظيف القنوات من الغرين كلما امتلأت به، ويكدسونه على جانبي هذه القنوات. ولا يزال من الممكن، بعد مرور ألفي عام على هذا العمل، رؤية هذه الأكداس وهي

تمتد عبر الصحراء بارتفاع يتراوح بين خمسة عشر وعشرين قدما. أما القنوات، والفلاحون، وبابل نفسها، فقد عفا عليها الزمان، ولم يتبق سوى تلك الروابي الحزينة، كأنهم عظام جافة لإمبراطورية كانت عظيمة وقتا ما، ثم اندثرت عندما لم تعد قادرة على صيانة موردها المائي وتنظيمه.

وفي سيلان، لا يزال من الممكن رؤية حطام سدود ضخمة قديمة، ومستودعات تخزين، وغيرها من أجهزة الري، وليس من شك في أن جميع الخزانات تمتليء تدريجيا بالغرين والرواسب، وتصبح عديمة الفائدة تقريبا مع مرور الوقت، ولكن الشعوب التي تستخدم هذه الخزانات تقوم ببناء غيرها إذا كانت لا تزال محبة للعمل وكانت تحكمها حكومة رشيدة. فعدم تخزين الماء في بلد تتعطش أراضيه للماء يعني أنه غير متحضر، أما عدم صيانة التخزين الذي كان موجودا في وقت ما، فيعني تأخر الناس وتدهور حضارتهم.

وعندما بدأ الناس يروون محاصيلهم، كانوا لا يزالون يحملون الماء إل مساكنهم. بل لقد كانوا يحملون الماء، حتى في القرى والمدن، من الجداول أو الينابيع، أو الآبار، أو يؤجرون من يقوم لهم بذلك. واليوم لا يزال السقاء يبيع الماء في كثير من البلدان بالقدح أو ملء الجرة (القربة). وقد رأى شخص ما، في مكان ما، أن جعل الماء يجري إلى القرية أو المدينة يمكن أن يكون شيئا رائعا. أما تحقيق هذه الفكرة، عادة، فلم يكن من عمل رجل واحد، بل كان يتطلب تعاون عدد من الأشخاص، كما أن فوائده كانت تعود على المجموعة بأسرها. وربما كان هذا أول مشروع

هندسي قامت به المجالس البلدية بعد بناء الأسوار، فالأرجح أن الدفاع كان يأتي في المرتبة الأولى في تلك الأيام التي كانت الغلبة فيها تتوقف على:

"تلك القاعدة الأزلية المعروفة، والخطة البسيطة

القائلة أن القوى هو الذي يأخذ،

والقادر على حفظ الشيء هو الذي يستبقيه"

"ووردزورث" في "مقبرة روب روي"

وهكذا حث هذا المفكر البدائي زملاءه في المدينة على حفر قناة أو مد خط من أنابيب البوصة يجلب الماء من مستو مرتفع ويفرغه في بركة أو حوض في القرية يستطيع الجميع رفعه منها. وكان هذا الخط المائي البدائي سابقة لكثير غيره.

ومع توافر الماء تضاعفت فوائده، بل لقد بدأ الناس يستحمون فيه! واستخدموا منه كميات أكبر كثيرا لإبقاء منازلهم وأدواتهم نظيفة. ثم مدت خطوط مائية أضخم وأطول. وانتعشت المشروعات المائية. وبحلول القرن السادس قبل الميلاد كانت بعض المدن الإغريقية قد أقامت شبكات واسعة للإمداد بالماء.

وقد استخدم "بوليكراتس" طاغية ساموس [١٠٢] مهندسا مائيا يدعى "يوباليوس" كان قد بنى شبكة مائية لمدينة "ميغارا" في عام ٦٢٥ ق.م فقام بشق نفق في أحد التلال مقطعة ٨×٨ أقدام، وطوله ٤٢٠٠ قدما. وكان الماء يتدفق عبر هذا النفق بمعدل محدد بدقة، ثم يتلقاه من الطرف السفلي مجرى مشيد بالطوب، يوصله إلى المدينة، حيث يمد النافورات، والأنابيب، والحمامات، ثم يصب أخيرا في الميناء، وقد أخبرني صديق شاهد هذا النفق أنه محفور من كلا الطرفين وأن مقطعيه يتقابلان بدقة رائعة.

وعندما قام الدكتور "روبنسون"، من جامعة جونزهوبكنز، بكشف وتنقيب أطلال مدينة "أولينثوس" Olynthus، التي دمرها الملك "فيليب" المقدوني عن آخرها في عام ٣٤٨ ق.م، دهش حين وجد أن هذه المدينة الريفية مزودة بشبكة مياة ومجارى واسعة النطاق. وكانت المياه تجلب إليها من مسافة عشرة أميال، وتوزيع بواسطة أنابيب من الطين النضيج، وكان كثير من المنازل به حمامات ومصارف. وربما كانت مدينة "صور" تمتلك أغرب شبكة مائية بين المدن القديمة جميعها، فقد بنيت هذه المدينة فوق جزيرة ليس بها ماء. ثم حفرت أربع آبار ارتوازية على الشاطيء الرئيسي. وكانت المياه ترتفع من هذه الآبار داخل أبراج إلى مسافة عشرين قدما فوق الأرض، ثم تهبط بالجاذبية إلى البحر، حيث كانت توضع في السفن وتنقل إلى المدينة.

---

(١٠٢) جزيرة يونانية في بحر إيجة، استعمرها الإغريق الأيونيون في القرن الحادي عشر قبل الميلاد، وازدهرت في القرن السادس ق.م. في عهد يوليكراتس، ولد فيها عالم الرياضيات الشهير فيثاغورس. (المترجم)

وكان الإغريق القدماء ينظرون إلى الماء والنار بوصفهما عنصرين أساسيين لهما طبيعة متنافرة: ففوائدها لا تقف عند حد إذ خضعا للإنسان، وضررهما لا يقدر إذا سيطرا عليه. على أن الماء في نظر شاعرهم "بيندار" Pindar جوهر الخير، فكتب يقول: "الماء أفضل الأشياء جميعا". أما "طاليس" Thales الفيلسوف، والسياسي، وعالم الرياضيات، وأحد حكماء اليونان السبعة، فكان يعتقد أن الماء جوهر الكائنات جميعا.

أما أعظم بناة القنوات والشبكات المائية في العصور القديمة فهم الرومان، الذين كانوا مهندسين موهوبين، ومخططين قادرين. والواقع أنه لم يكن هناك عمل أو مشروع أصعب من أن تنجزه "صلابة روما الفولازية في الأمور الشاقة"، وقد بلغ طول أولى قنواتهم المائية، التي بنوها في عام ٣١٢ ق.م. أحد عشر ميلا. أما أضخم هذه القنوات – وقد بنيت في عام ١٤٠ ق.م – فكان طولها ستين ميلا. وقد بلغ آخر ما بنته للمدن التابعة لها، لا يزال واحد منها على الأقل مستعملا حتى الآن. وفي روما، كانت تقوم بتوزيع المياه على المنازل والمباني أنابيب من الرصاص والنحاس يبلغ طولها عدة أميال، كما كانت الحمامات الشعبية، التي كان بعضها مزودا بالماء الساخن، تخدم آلافا من المواطنين يوميا.

وربما كان أعظم عمل منفرد قام به الرومان في الهندسة المائية هو حفر نفق طوله ثلاثة أميال تحت جبل "أفليانو" Affliano، أتموه في عام ١١٢ بعد الميلاد. وبحلول نهاية القرن التالي تقريبا، كان لدي "سكستوس يوليوس فرونتينوس" Sextus Julius Frontinus مشروعات معدة

لجميع قنوات المياة الرومانية التي كان يعمل مشرفا عليها، وقام بكتابة تاريخ ووصف لها. والظاهر أنه أخذ عمله مأخذا جديا، إذ كتب يقول: "أهناك مجال للمقارنة بين الأهرامات الخاملة، أو تلك المنشآت الإغريقية العديمة الجدوى، رغم شهرتها الكبيرة، وبين هذه القنوات المائية العديدة التي لا غنى عنها؟.

وكان مجموعة المياه التي توصلها قنوات إمبراطورية روما نحو ١٣٠ مليون جالونا يوميا، كان يستخدم منها نحو ٩٢ مليون جالونا في مدينة روما نفسها. وعلى الرغم من براعة المهندسين الرومان الفائقة في المشروعات المائية، فإنهم لم يتمكنوا قط من فن صنع الوصلات المقاومة للضغط في المواسير الضخمة. ولذلك لم يكن في وسعهم، كما نفعل اليوم، مد المواسير التي تنقل الماء عبر الوديان تحت ضغط، ومن ثم فقد استخدموا مباني ضخمة تحمل مواسير صغيرة نسبيا عبر الوديان فوق قناطير عالية.

ولذلك كان الماء يتدفق دائما في قنواتهم من ارتفاع قليل وبسرعة منخفضة، ولم تكن هناك عدادات لقياس سحب الماء، ولذلك كان المستهلكون يدفعون حسابهم على أساس مساحة الفتحات التي تزودهم بهذا الماء.

وعندما اضمحلت قوة روما، واكتسحت مقاطعاتها القبائل الرابضة على حدود إمبراطوريتها الجبارة، والغازية من وراء هذه الحدود، اضمحلت

أيضا حضارتها وفنها الهندسي (الذي هو خادم هذه الحضارة المطيع)، وكادت أن تختفي تماما في بعض المناطق. وتعرف القرون التي تلت ذلك بالعصور المظلمة، إذ حدث فيها خلال ألف عام تراجع لا تقدم في استخدام الماء والتحكم فيه. بل لقد كان من المستحيل في عهد كان يسوده انحلال المجتمع، ويفتقر إل السلطة المركزية القوية والخضوع للقانون، صيانة نفس المنشآت العظيمة التي سبق للرومان إقامتها. وهكذا أهملت القنوات المائية وأسيء استخدامها، ونضبت الخزانات، وخلت الحمامات الشعبية العظيمة من الماء، وكف الناس عن الاستحمام لمدة ثمانمائة عام تقريبا. وبدا الأمر وكان المعرفة التي اكتسبت طوال ألف من السنين قد ضاعت. ولو فرض وكان هناك مهندسون، لما كان في مقدورهم أن يفعلوا أكثر من رثاء الحالة التي تردت فيها مهتهم، وانعدام الفرص أمامهم في عصر جاهر تسوده البربرية.

كان الظلام سائدا، والليل طويلا، ولكن الفجر لاح في النهاية، ثم سطع عصر النهضة. واهتم الإنسان بالماء مرة أخرى لأسباب أكثر من مجرد إرواء الظمأ. وأخذ هذا الاهتمام ينمو ويشع حتى أسفر عن روائع عصرنا الحالي.

الفصل الثاني

الصراع من أجل السيطرة على البحار

لقد سعى الإنسان منذ أقدم الأزمنة وعمل على السيطرة على الماء والانتفاع به، على حين سعت الأمم وحاربت من أجل السيطرة على البحار. وأسفرت الرغبة الأولى عن إمدادنا بوسائل الري، بما تشتمل عليه من سدود مائية وقنوات، وبالقوى المائية، والمضخات. كذلك أنتجت هذه الرغبة شبكات الإمداد بالمياه، بما تتضمنه من سدود، وخزانات، وقنوات، وأجهزة ترشيح. وشبكات هائلة للتوزيع والتصريف ومن نفس هذه الرغبة جاءت أيضا العجلة المائية (الساقية)، والآلة البخارية، ومصنع الثلج.

كذلك نبعت منها قنوات السفن الهائلة التي تربط بين المحيطات والبحيرات، وقنوات أصغر لا حصر لها، وسدود هولندا، وجسور المسيسبي. والواقع أن هذه الرغبة وهبت العالم، بطريق مباشر أو غير مباشر، أشياء كثيرة أخرى، تبلغ من الكثرة حدا يصبح معه تعدادها هنا أمرا شاقا غير ضروري. على أنه ينبغي علينا مع ذلك أن نذكر شيئا عن أهم هذه النتائج عندما نحاول رسم صورة تخطيطية لما فعله الإنسان للماء وبالماء.

أما رغبة الأمم في السيطرة على البحر، أو على جزء معين منه، فقد أنتجت السفن الحربية، من الزورق الحربي، فالطريم trieme الكلاسيكي، والقادس الفينيسي، والغليون الإسباني، والفرقاطة وسفن الهجوم الإنجليزية، حتى البوارج، وحاملات الطائرات، والطائرات البحرية، والغواصات الحالية. كما أسفرت عن بناء الاستحكامات الضخمة مثل استحكامات جبل طارق، وبنما، وسنغافورة عند مدخل المسالك المائية العالمية. ونظرا إلى اهتمامنا في هذا الكتاب بالماء وعلاقته بالحياة، فسوف يكون من الضروري أن نذكر شيئا عن هذا الصراع من أجل السيطرة على البحر، ذلك الصراع الذي قرر في كثير من الأحيان مصائر الأمم، وغير مجرى التاريخ. وفي هذا الصدد يحق لنا أن نورد قول الشاعر لوميير (في عام ١٧٧٥): "أن رمح نبتون صولجان العالم"[١٠٣]

لقد أدرك ملوك وساسة الجزر والبلدان المكشوفة للبحر، منذ فجر التاريخ، قيمة القوة البحرية. وكانوا في حاجة إلى سفن حربية وبحارة مقاتلين لمنع البلدان البحرية الأخرى من الإغارة على سواحلهم وموانئهم، أو لما هو أسوأ من ذلك، ألا وهو إنزال جيوش الغزو. كذلك كانوا في حاجة على هذه السفن وهؤلاء الرجال لحماية سفنهم التجارية وتجارهم الذين كانوا يقومون بمغامرات بعيدة في البحار، ويجلبون إلى أوطانهم الطعام والبضائع الأجنبية التي كانوا في أمس الحاجة إليها. أما إذا كان الملك أو

---

(١٠٣) نبتون إله البحر عند الرومان.
(المترجم)

مستشاروه طموحين ومحبين للحرب، فقد كانت حاجتهم للأسطول ترمي إلى مهاجمة الأمم الأخرى وإخضاعها. والأرجح أن المصريين وسكان تكريت كانوا أول بناة سفن وملاحين عظام وقد كانت قوة المملكة "المينوية" Minoan، التي ازدهرت في كريت منذ أربعة آلاف سنة، تعتمد على البحر والسفن إلى حد أن أطلق عليها اسم "الحكومة القائمة على القوة البحرية" the assocracy وهذا أمر طبيعي تماما، إذ أن كريت كانت أول جزيرة كبيرة في البحر المتوسط تظهر فيها الحضارة، ولا بد لحضارات الجزر أن يكون لها قوة بحرية تحميها وتحمي تجارتها.

وكانت السفن الكريتية تتاجر مع مصر وآسيا الصغرى، كما قامت بنقل الحضارة والسيادة المينوية إلى أراضي اليونان الرئيسية وجزرها. ويبدو أنها ظلت محتفظة بقوتها وازدهارها القائم على السيادة البحرية طوال ألفي عام. وأخيرا، فقد السيطرة على البحر. وربما يرجع ذلك إلى أن الحروب الداخلية استنزفت قواها، أو ربما أدى الانحلال الخلقي وتدهور الإقدام الحربي الذي يعقب عادة فترات الرخاء والانتعاش الزائدة عن الحد، إلى توهين قوتها، ووضع سفنها في أيدي رجال أقل حضارة وإن كانوا أشد بأسا.

وأيا ما كان السبب، ففي حوالي عام ١٣٠٠ ق.م. عبر الغزاة الستين ميلا من البحر التي تفصل الجزيرة عن أقرب نقطة في الشواطيء الرئيسي، ثم نزلوا سلبا وحرقا في مدنها الثرية وقصورها الهائلة، التي لا تزال أطلالها تستحوذ على إعجابنا وتقديرنا. واستبعد الغزاة أهل كريت، ودمروا

واحدة من أهم الحضارات القديمة. ومنذ ذلك الوقت، دفعت كثير من الأمم الأخرى نفس الثمن نتيجة لإهمال أسطولها البحري، أو تركه يضعف وتدب فيه عوامل الفساد.

وبتدمير القوة الكريتية، أصبح لدى المدن الفينيقية على الأرجح أقوى قوة بحرية في البحر المتوسط لفترة ما، وقد وجدت مدينة صيدا في مدينتي صور وقرطاجنة، مركزين للتجارة البعيدة المدى، وكان كل من هذه المدن يحتفظ بسيادة البحر فترة معينة، وكانت صيدا تقع على شاطيء القارة ذاتها، أما صور ففي جزيرة قريبة من هذا الشاطيء. ولذلك فعندما كانت تشن عليهما الهجمات عن طريق البر، كانت سفنهما تمكنهما من تحمل الحصار الطويل إذ تجلب المؤن والإمدادات من أماكن بعيدة بما وراء البحار. وأخيرا سقطت كلتا المدينتين في أيدي القوى البرية الهائلة لأشور وفارس، وفي أيدي الإسكندر الأكبر.

ومع ظهور الحضارة الإغريقية وازدهارها، أخذت مدنها الساحلية وجزرها تتطلع إلى البحر بحثا وراء التجارة أو الغزو، أو الاثنين معا. وقام الإغريق بتعمير كثير من المستعمرات في إيطاليا وأجزاء أخرى في غربي البحر المتوسط. والواقع أن هذا الشعب الجدير بالإعجاب كان منهمكا إلى أبعد حد في بناء أول حضارة أوروبية حقيقية. وإننا لنجد في حياة اليونان بذور كل ما لدينا اليوم في الفن، والدراما، والعلم، والأدب، والفلسفة، والنظام الديمقراطي الحكومي والحرية الفردية.

وإلى الشرق من المدن الإغريقية المستقلة،كانت الإمبراطورية الفارسية قد غزت وأخضعت جميع الأراضي التي نطلق عليها اليوم اسم الشرق الأدنى. وقد شيدت هذه الإمبراطورية على أساس نظام الحكم الأسيوي القائم على الملكية المطلقة، وكانت خير ممثل لهذا النظام، ومن ثم كان الصدام بين النظامين أمرا لا بد منه. وأصبح المسرح معدا للفصل الأول من الصراع الكبير بين الشرق والغرب، بين آسيا وأوروبا، بين الاستبدادية والديمقراطية. وقد قدر لهذه المأساة العالمية أن تشتمل على فصول عديدة، ولم يسدل الستار الأخير بعد على هذا الصراع الطويل الذي هز العالم.

ويهمنا في هذا المجال ان نتحدث عن الهجوم الذي شنته الإمبراطورية الفارسية الواسعة الأرجاء على الولايات الإغريقية الصغيرة المنفصلة المستقلة، لأن نتيجة هذا الهجوم قد تقررت في معركة بحرية هائلة فقد كان الفرس شعبا يعيش في الداخل، لا شعبا بحريا، ولكنهم أعدوا لليونان كل القوى البحرية التي تملكها البلدان والمدن البحرية التي غزوها. وفي عام ٤٨٠ ق.م قاد ملك الفرس المعروف باسم "زرسيس" Xerxes جيشا ضخما عبر ممر "هيليسبونت" (الدردنيل الآن) بعد أن أقام عليه الجسور.

وكان أسطوله أضخم كثيرا من أساطيل الولايات الإغريقية مجتمعة، وكان يضم سفنا تابعة تنتمي إلى صور وصيدا والمدن الهلينية (الإغريقية) الواقعة على الساحل الشرقي لبحر إيجة. وفي جميع المدن الأخيرة كانت توجد قوات قوية من المدفعية الفارسية، ورماة فوق السفن ليمنعوا البحارة

من الفرار إلى مواطنيهم في الأسطول المعادي. وكف اليونانيون في شبه الجزيرة والجزر التابعة لها عن قتال بعضهم البعض، واتحدوا لمقابلة العدو المشترك.

وقد أنزلت إحدى العواصف خسائر جسيمة بالأسطول الفارسي قبل أن يقابل الإغريق، وأسفرت المعركة الأولى عن التعادل، ولكن التعادل ضد قوة متفوقة إلى حد بعيد كان فألا حسنا بالنسبة إلى اليونانيين. وقد نصحت "نبوءة دلفي" الأثينيين بأن يضعوا ثقتهم في "الجدران الخشبية"، وقال "تيميستوكليس" الذي كان أبرز الأثينيين، والذي ربما كان قد أوحى بهذه النبوءة أن ذلك يعني أن يضعوا ثقتهم في سفنهم وهكذا هجر الأثينيون مدينتهم، ووضعوا كل أملهم في الأسطول.

وكانت المعركة التالية حاسمة، إذ تقابل الأسطولان في البوغاز الضيق الذي يقع بين جزيرة "سالاميس" والشاطيء الرئيس، حيث لم يستطع الفرس، على الرغم من تفوقهم العددي، ضع سفن في خط القتال الأمامي أكثر مما يستطيع اليونانيون وضعه. وجلس "زرسيس" فوق عرش على الشاطيء ليرى الأسطول المدافع وهو يدمر، فتنتهي بذلك الحرب كما اعتقد:

جلس ملك فوق ربوة صخرية

تشرف على سالاميس الرابضة في البحر،

وتناثرت السفن تحته بالآلاف،

تحمل رجالا من أمم تخضع له!

أحصاهم عند مطلع النهار

وعندما غابت الشمس، لم يجد لهم أثرا.

بيرون، "دون جوان"

ولا يخفى أن السفن "بالآلاف" إنما هي مبالغة من وحي الشاعر بيرون فقد كان لدى الفرس نحو ٦٠٠ سفينته، ربما بلغ عدد الرجال عليها ١٢٠.٠٠٠ رجلا، أما الإغريق فكان لديهم ٣٦٦ سفينة عليها نحو ٦٠.٠٠٠ رجلا. وكان المجدفون والمحاربون الإغريق يعرفون أن نهاية اليوم قد تقرر ما إذا كانوا سيصبحون أحرارا أم عبيدا. وكانوا يحاربون من أجلك أطفالهم، وبيوتهم، وطريقتهم في الحياة. وما أن زحفت الجحافل الفارسية عليهم، حتى حدثت لحظة يائسة من التردد والارتباك في صفوف الأسطول اليوناني، ثم اندفعت سفينة لا نعرف اسم قائدها البطل، إلى الأمام من بين الصفوف المترددة، وهاجمت سفينة فارسية. وحذت السفن الأخرى حذوها. والتحم الأسطولان الواحد بالآخر في البوغاز الضيق.

وارتفعت أصوات كئيبة لسفن تتحطم ورجال يلقون مصرعهم، ورأى "زرسيس" الذي كان يرقب المعركة من فوق عرشه المنصوب على ربوة عالية، أسطوله وهو يتحطم وينهزم. وفقد الفرس مائتي سفينة، والإغريق أربعين.

وقد قررت هذه المعركة مصير السيادة على البحر. أما فلول الأسطول الآسيوي فقد غادرت المياه اليونانية للدفاع عن الجسر المقام فوق بوغاز هيليسبونتم. ولم يكن باستطاعة الجيش الفارسي تلقي المؤن دون السيطرة على البحر، فانسحب "زرسيس" على رأس الجزء الأكبر منه إلى آسيا. أما البقية فقد انهزمت شر هزيمة في العام التالي عند "بلاتيا" Plataea، وفي نفس اليوم – كما ورد في رواية هيرودوت – دمرت فلول الأسطول الفارسي. وهكذا أنقذت اليونان والحرية بفضل ملاحيها، وانحسر تيار المد الآسيوي، ولم يرتفع ثانية ليهدد أوروبا إلا بعد ذلك بأكثر من تسعمائة سنة، حين اندفع إليها "أتيلا" Attila على رأس جيش من "الهون"[١٠٤] بطريق البر.

ومنذ معركة "سلاميس" الفاصلة، وهي أول معركة بحرية كبيرة لدينا عنها أنباء موثوق بها، أخذت قوة فارس تضمحل. أما الانتصار اليوناني فقد أدى إلى ظهور التفوق البحري لأثينا، ذلك التفوق إلى كاد أن ينجح في تأسيس أمبراطورية بحرية كان من الممكن أن تقف في وجه قوة روما في القرون التالية وفي الحرب الطويلة التي دارت بين أثينا وإسبرطة، كانت أثينا في أمان طالما كانت سفنها قادرة على السيطرة على البحر وإمدادها بالطعام، وذلك على الرغم من تفوق أعدائها في البر.

---

(١٠٤) الهون Hins شعب آسيوي همجي غزا أوروبا حوالي عام ٤٥٠ بعد الميلاد. (المترجم)

وفي عام ٤١٣ ق.م فقد الأثينيون أحد أساطيلهم في سيراقوزا بصقلية، ومنذ تلك الهزيمة أخذت قوتهم تنهار تحت ضربات الأسبرطيين وحلفائهم، كذلك أدت هزيمة أسطول آخر من أساطيلهم إلى قطع مؤن الحبوب التي تصل إليهم من البحر الأسود، وأجبرت أثينا لا على التخلي عن مركزها القيادي بين الولايات اليونانية فحسب، بل وعلى هدم الأسوار التي كانت تحمي المدينة وميناءها أيضا.

وكانت المعركة الكبيرة التالية تستهدف السيطرة على الجزء الغربي من البحر المتوسط، حيث أخذت قوة روما المتزايدة تهدد سيادة قرطاجنة، وفي بدء الصراع الطويل اليائس المعروف باسم الحروب البونية أو القرطاجية Punic wars (٢٦٤ ق.م)، لم تكن روما تمتلك سفنا، على حين كان أسطول قرطاجنة أقوى أسطول في البحر المتوسط. فقد سيطرت هذه المدينة لعظيمة، التي كانت توجد في تونس الحالية، على أغلب شمال إفريقيا والجزر الواقعة غربي البحر المتوسط. وكانت روما قد بسطت نفوذها وحمايتها تدريجيا على أغلب أجزاء إيطاليا الواقعة جنوبي نهر "البو". ولذلك كان لا بد من تصادم مصالح وأطماع هاتين المدينتين الإمبرطوريتين في صقلية وإسبانيا، كذلك كان لا بد أيضا من أن تنتهي الحرب الناتجة بالانحدار والدمار التام لأحد الخصمين.

ولم يكن الرومان بطبيعتهم شعبا بحريا، ولكن بعد أربعة سنين من الحرب في صقلية، رأى قادتهم أنه ليس أمام روما قصة للنصر إلا إذا أصبح لديها أسطول قوي بدرجة تكفي لكسب السيطرة على البحر،

وقطع مواصلات قرطاجنة مع جزرها، وتأمين نزول الجيوش الرومانية في إفريقيا. وشرعوا بإصرار وعزم، يصنعون أسطولا من العدم. وكان هذا عملا بطوليا، وقبلت روما البطلة التحدي. ويقال أن الرومان بنوا سفنهم، مستعينين بقارب قرطاجني كان قد جنح على شاطئهم، في مدى ستين يوما من قطع الأخشاب. وفي الوقت الذي كانت تبني فيه السفن، كان البحارة يتدربون على التجديف في نماذج أقيمت على الشاطيء وعلى الرغم من عدم خبرة هؤلاء البحارة وعدم نضج الخشب الذي صنعت منه سفنهم، فقد كسب الأسطول الجديد المعركة الأولى، والأخيرة، وهو الأهم.

ونظرا إلى أن الرومان كانوا لا يثقون في قدرة بحارتهم الذين دربوا بسرعة، على المناورة بنفس المهارة التي يناور بها القرطاجنيون المحنكون، فقد جهزوا سفنهم بمعدات خاصة للإمساك بسفن العدو، وشل حركاتها، ثم النزول عليها وقد دار الجزء الأكبر من المعركة الأولى مع قرطاجنة، وتقرر بصفة أكيدة، في الماء إذ أن قوة روما البحرية الجديدة مكنتها من نقل الحرب إلى إفريقيا. وقد أصبحت روما المنتصرة، بعد استقرار السلم على أساس الشروط القاسية التي فرضتها، سيدة على جميع المياه الواقعة غربي اليونان دون منازع. أما الحرب القرطاجنية الثانية، فقد سوت مشكلة السيادة بين الخصمين إلى الأبد. وفي الحرب الثالثة، دمرت المدينة الإفريقية العظيمة تماما، واختفت قرطاجنة من بين الأمم.

وهكذا لم تعد هناك قوة بحرية قوية تستطيع الآن الوقوف في وجه قوة روما المتزايدة، وسرعان ما دفعت روما سفنها وجيوشها شرقا وغربا

حتى أصبحت المنطق الفسيحة من البحر المتوسط التي تقع في العالم الغربي بحيرة رومانية، ومن هنا جاء تعبير "ماري نوستروم" mare nostrum أي بحرنا [١٠٥]. ومن البحر المتوسط أخذت روما تبسط سيطرتها تدريجيا على البحر الأسود وسواحل الأطلنطي حتى وصلت إلى بريطانيا. وقد احتفظت بسيطرتها على جميع هذه البقاع لمدة ستمائة عام تقريبا. صحيح أنه حدثت معارك بحرية بين الأحزاب الرومانية المتنافسة، كما حدث عند أكتيوم، كذلك كانت هناك أساطيل قرصنة قوية لا بد من قمعها، ولكن روما استمرت في حكم البحار، والسيطرة على التجارة البحرية للعالم الغربي حتى عام ٤٠٠ بعد الميلاد.

ويجوز لنا أن نتساءل أيضا عن نوع السفن التي قررت مصير المعارك البحرية في الحروب القديمة والكلاسيكية، والتي قررت كذلك مصير الأمم ويبدو أن جميع بلدان البحر المتوسط التي كانت لديها قوة بحرية كانت تستخدم سفنا طويلة، ضيقة جدا، ومسطحة القاع من النوع القادس، تتحرك بالمجاديف. أما السفن الحربية الإغريقية والرومانية فكانت نسبة الطول إل العرض فيها ثمانية إلى واحد، وفي حالة السفن التجارية كانت هذه النسبة أقل. كذلك كانت أغلب سفن القادس تحمل صاريات وأشرعة، ولكنها لا تستخدمها في المعارك. وكان كثير منها مجهزا في مقدمته بقرون معدنية مدببة، وكان ربابنة السفن يحاولون إغراق سفن العدو

---

(١٠٥) يلاحظ أن موسوليني قد أحيا هذا التعبير للإشارة إلى مطامع ايطاليا الفاشية في جميع بلاد البحر المتوسط. (المترجم)

بنطحها بهذه القرون، أو ببتر مجاديفه وتركه عاجزا عن المناورة. وكانت سفن الرومان الحربية تحمل نوعا من الجسور المتحركة ينزل فوق سفن الأعداء للاحتلال. كذلك كانوا يعلقون أحمالا ثقيلة في أطراف الصاريات لإسقاطها فوق السفن الأخرى بقصد إغراقها.

ويبدو أن أغلب سفن القادس قد صنفت ضمن السفن الثلاثية المجاديف (الطريم trireme). ولقد كان المتفق عليه لفترة طويلة أن "الطريم" سفينة لها ثلاث طبقات من المجاديف، مرتبة في صفوف، ولكن عرف الآن أن هذه لم تكن الحال دائما. بل أن بعض من قاموا بدراسة هذا الموضوع يعتقدون أن الطريم كان له طبقة واحدة من المجاديف يعمل على كل مجداف منها ثلاث رجال، وأن السفينة التي لها ثلاث طبقات من المجاديف لا يمكن تسييرها بنجاح. ومع ذلك فنحن نسمع عن سفن من هذا النوع رباعية المجاديف (الكدريم quadarireme) بل خماسية المجاديف، وجميعها سفن ذات طبقة واحدة من المجاديف، يديرها ثلاثة، وأربعة وخمسة رجال على التوالي.

وفي الفترة الكلاسيكية التالية، كان المجدفون الذين يحركون سفن القادس يتكونون أساسا من أسرى الحرب، أو المجرمين، او العبيد المملوكين. وكانت حياتهم تجري على أقصى صورة يستطيع أي انسان أن يتحملها ويظل حيا لأية فترة من الزمن. فكثيرا ما كانوا يربطون بالسلاسل في مجاديفهم أو مقاعدهم، وكانوا دائما يكدسون في أقل حيز ممكن، ويساقون

بالسياط إلى أشد الأعمال استنفادا للقوى وأطولها أمدا، ويعيشون في شقاء وقذارة لا يمكن وصفهما حتى صار بؤسهم مضرب الأمثال.

وبعد سقوط روما، جاءت فترة لم تكن توجد فيها قوة بحرية تذكر في البحر المتوسط. ثم امتلكت الإمبراطورية الرومانية الشرقية في القسطنطينية أسطولا قويا لم يصادف مقاومة جدية طوال عدة مئات من السنين، ولكن هذه الإمبراطورية (الدولة البيزنطية) لم تكن في جوهرها قوة بحرية. ولذلك ينبغي أن ينتقل اهتمامنا إلى الشمال، حيث كانت رحى الحرب دائرة بين السويديين والدنماركيين من أجل السيادة على البحر البلطي، على حين كل قراصنة النرويج يحاربون الاثنين وكل من عاداهم تقريبا.

وقد قام هؤلاء القراصنة الأشداء باستكشاف أيسلندا وجرينلاند والاستطيان بهما، ثم وصلوا في اندفاعهم الدائم غربا نحو المجهول، إلى الشواطيء التي أطلقوا عليها اسم "فينلاند" (أي أرض الكروم) و"فورديستراندي" furdistrandi، والتي كانت منم المؤكد في أمريكا، وإذا جاز لنا أن نصدق الكتابة المحفورة على حجر "كينزينتون" [١٠٦] Kensington stone، التي يبدو أنه يشيع تصديقها اليوم، قد أبحرت جماعة من النرويجيين حتى خليج هدسون وعبرته، ثم توغلت مسافة بعيدة داخل ولاية مينيسوتا في القرن الرابع عشر. غير أنه من المؤكد أن جماعات

([١٠٦]) عثر على هذا الحجر بالقرب من كينزينتون بولاية مينيسوتا في عام ١٨٩٨ وبه كتابة منقوشة تحكي قصة جماعة الاستكشاف النرويجية على أن صحة هذا الحجر لازالت موضع خلاف كبير. (المترجم)

أخرى من النرويجيين قد أغارت على جميع سواحل أوروبا الغربية، واستقرت نهائيا في نورماندي، وأقامت الإمارات النورماندية في كالابريا وصقلية قبل أن تستنفد هذه الانتفاضة الرائعة للقوة البحرية الشمالية قوتها.

وبعد انسحاب الجيوش الرومانية في بداية القرن الخامس، تعرضت بريطانيا للإغارة والغزو من القبائل الجرمانية – وهي قبائل الأنجل، والساكسون، واليوت – التي جاءت عبر بحر الشمال بواسطة السفن. ولم تكن هناك أساطيل رومانية أو بريطانية لتوقفها. وبعد ذلك قام الدنماركيون في سفنهم لطويلة بغزو منطقة كبيرة في الجزء الشرقي للبلاد، واستوطنوا بها. وأخيرا، كون الفريد الأكبر (٨٤٨ – ٩٠٠)، الملك السكسوني، أسطولا إنجليزيا، وهزم الدنماركيين برا وبحرا. ولكن خلفاء الفريد لم يحافظوا على الأسطول الذي شيده. وعندما أقلع "وليام الفاتح" نزع جنوده النورمانديين لغزو البلاد، لم تكن هناك سفن ساكسونية لمقاومته. ولو كان "هارلود" يمتلك أسطولا، لكان من الجائز ألا تحدث معركة "هيستنجز" في عام ١٠٦٦، أو يتم الغزو النورماندي لإنجلترا.

وبانتهاء العصور المظلمة، تحول البحر المتوسط ثانية إلى مسرح للنزاع البحري الكبير، إذ أصبحت فينيسيا (البندقية) وجنوا غنية وقوية بفضل التجارة، التي كانت تجري أساسا بطريق البحر، فحاربت كل منهما الأخرى دون نتيجة حاسمة، حتى أصبحت القوة المتزايدة لسلاطين الأتراك في

القسطنطينية تهدد بطرد سفنها، وجميع السفن المسيحية الأخرى، من البحر.

وقد كان الأتراك، كالفرس، شعبا بريا، ولكنهم غزوا أغلب بلدان الشرق الأدنى، فتمكن بعضهم من التفوق في فنون الملاحة، وأصبحوا قادرين على قيادة السفن التابعة لجميع سواحل آسيا الصغرى، ومصر، وقراصنة البربر الجزائريين. وحول البحر المتوسط، كان هلال القوة الإسلامية يهدد بأن يصبح بدرا متكملا. وهكذا اتحدت القوى المسيحية لمجابهة التحدي الإسلامي. وتجمع أسطول قوى مكون من ثلاثمائة سفينة من البندقية، وإسبانيا، وجنوا، والإمارات البابوية بقيادة "دون جوان" ملك النمسا، وقابل أسطول تركيا في نفس الحجم تقريبا في خليج كورينث بالقرب من "ليبانتو" Lepanto في السابع من أكتوبر عام ١٥٧١، وأصبحت السيطرة على البحر المتوسط، وربما مصير أوروبا، كفة الميزان عندما اندفعت جحافل الأسطول التركي للهجوم.

وكان كل رجل في الأسطولين يعرف أن هذه المعركة لم تكن معركة عادية، ويشعر أنه يحارب من أجل دينه وطريقته في الحياة. وكما حدث في "سلاميس"، كان الشرق ضد الغرب، أو آسيا ضد أوروبا. وظل الصراع الهائل مستعرا فترة طويلة ظهرت خلالها ضروب من الشجاعة الخارقة في كلا الجانبين. وانتهى اليوم بهزيمة الأتراك الساحقة، إذ وقعت ١٩٠ من سفنهم في الأسر، وغرق كثير منها، ولم يتمكن من الهرب إلا قليل. وتحرر

خمسة عشر ألفا من العبيد المسيحيين الذين كانوا يعملون في السفن التركية.

ولا ترجع شهرة "ليبانتو" وأهميتها إلى أنها كانت إحدى المعارك التاريخية الحاسمة فحسب، بل إلى أنها حددت أيضا نهاية مرحلة وبداية مرحلة جديدة في فنون الحرب البحرية. ذلك لأنها كانت آخر معركة بحرية كبيرة تدور بين سفن تتحرك بواسطة المجاديف، وأول معركة تستخدم فيها المدفعية على نطاق واسع. ومن المرجح أيضا أن الرجال الذين ماتوا في ذلك اليوم كانوا أكثر منهم في أية معركة بحرية أخرى حدثت من قبل أو من بعد، إذ فقد فيه المسيحيون ٨٠٠٠ قتيلا، و ١٦.٠٠٠ جريحا. أما خسارة الأتراك فغير معروفة بدقة، وإن كانت تقدر بما يتراوح بين ٢٥.٠٠٠ و ٥٠.٠٠٠ قتل أغلبهم أو غرق.

وحتى عام ١٤٩٢، كان البحر المتوسط أهم مساحة مائية في العالم المتحضر على الإطلاق. وبعد ذلك، أخذت شعوب أوروبا الغربية تنمي أساطيلها وتجارتها المائية، وأخذ البحارة البرتغاليون، بتشجيع من الأمير "هنري البحار" يندفعون جنوباً على ساحل إفريقيا، وفي عام ١٤٨٨ دار "بارتولوميو دياز" Bartholomeu Dias حول رأس الرجاء الصالح، مقيماً بذلك دليل على أنه يمكن الوصول إلى المحيط الهندي بالطريق المائي من أوروبا. وأصبح هناك طريق بحري يغري المغامرين بالوصول إلى ثروات الهند والشرق الأقصى.

وجاءت الكشوف بوفرة وسرعة، وكان أهمها بالطبع، رحلة كولمبس، وهو مواطن من جنوا عمل في خدمة إسبانيا، وأبحر إيماناً منه بنظرية كروية الأرض، غرباً ليصل إلى الشرق. ففتح بذلك عالماً جديداً أمام المعرفة الأوروبية، ولكنه مات معتقداً أنه اهتدى إلى طريق جديد إلى بلدان قديمة معروفة. كذلك قام جون وسبايتبان كابون " John and Sebastian cabot"، وهما إيطاليان يعملان لحساب إنجلترا، باستكشاف ساحل أمريكا الشمالية. ويصدق على هذا ما قاله أحدهم: "في تلك الأيام كان الإيطاليون يعثرون على كل شيء ولا يحتفظون بشيء". وفي عام ١٤٩٩، عاد "فاسكو دا جاما" من رحلة إلى الهند، فانفتح بذلك الطريق البحري إلى الشرق. واكتشف برتغالي آخر، يدعى "كابرال" cabral، البرازيل في عام ١٥٠٠، وفي وقت قصير جداً قام مستكشفو المملكة الصغيرة التي يطوقها البحر وبحارتها الأشداء باستكشاف مدغشقر، وجزر الهند الشرقية، وكثير غيرها، وأقاموا الحصون والمواقع التجارية على طول شاطئ إفريقيا، وفي الهند، وجزر الهند الشرقية، والصين.

وفي عام ١٥٤٢ كانوا قد وصلوا إلى اليابان، وسرعان ما أصبح لديهم كثير من المبشرين والتجار هناك. وفي عام ١٥٢٢ أتمت إحدى سفن "فرديناند ماجيللان"، وهو برتغالي يعمل في خدمة إسبانيا، أول رحلة حول العالم.

وهكذا استطاع الإنسان أخيراً أن يدور حول الكوكب الذي يعيش فيه، ولم يعد يستطيع أن ينكر أن هذا الكوكب كروي، وأن الماء

يغطي الجزء الأكبر من سطحه. وعرف رجال ماجلان مدى امتداد المحيط الهادي الهائل. ولم يعد المحيط الأطلنطي عقبة كأداء أمام الاستكشاف وجسماً مائياً لا نهاية لامتداده، بل أصبح طريقاً ممهداً يوصل إلى قارات وأعاجيب وثروات جديدة. ولذلك كان لا بد أن يقرر الصراع الكبير التالي على السيادة البحرية من سيسيطر على الطرق البحرية الجديدة الموصلة إلى الشرق والغرب، وينتفع بها.

وبحلول الجزء الأخير من القرن السادس عشر، كانت قوة البرتغال قد اضمحلت، وحلت محلها إسبانيا لفترة ما، وكانت إسبانيا تتلقى كميات كبيرة من الذهب والفضة من مستعمراتها الغنية الآخذة في الاتساع بسرعة في جزر الهند الغربية، والمكسيك، وأمريكا الوسطى والجنوبية. وأعلنت امتلاكها لقارتي أمريكا بأسرهما فيما عدا البرازيل، وحالت بين سفن البلدان الأخرى وبين النزول فيهما.

وكانت إنجلترا تتقدم لتصبح دولة تجارية مستكشفة، وقام تجارها المغامرون وملاحوها الشجعان بتحدي السيادة الإسبانية على الأطلنطي، وأسروا سفن الأسبان المحملة بالكنوز، وأغاروا على موانئهم في البحر الكاريبي. وهكذا اختمر الصراع الذي تحسمه السفن والمهارة البحرية والمدفعية، وبعد مناوشات استطلاعية، جاءت الساعة الحاسمة في ١٥٨٨ عندما أرسلت إسبانيا أسطولها المنيع المعروف باسم "الأرمادا" لغزو إنجلترا، كما سبق للبحارة الإسبان أن انتصروا في معركة "ليبانتو". وكانت إسبانيا في ذلك الوقت أعظم قوة في أوروبا، ولكن إنجلترا هبت لنضالها:

عندما جاء ذلك الأسطول العظيم الذي لا يقهر ليحاربها

حاملا معه – دون جدوى – أعظم ثروات المكسيك، وأشجع رجال إسبانيا

(ماكولي، في "الأرمادا")

وكان الإسبان شعبًا شجاعًا، كما كان لديهم أضخم السفن. ولكنهم تكبوا في قائدهم، الذي لم يكن من رجال البحر. أما الإنجليز فكان لديهم سفن أسرع، ومقدرة أكبر على الفنون البحرية، ومدفعية أقوى، وقواد عظماء متمثلون في "دريك" Drake، و "هوكينز" Hawkins، و "هوارد" Howard وكانت هزيمة الأرمادا ساحقة ومفجعة، إذ لم ترجع منه إلى إسبانيا سوى فلول في حالة يرثى لها. وهكذا ثبتت إنجلترا أقدامها على الطريق الذي قادها، بعد معارك مريرة ضد هولندا وفرنسا، إلى السيطرة على البحار.

وإذا رغبت في قراءة قصة مثيرة تستحوذ على اهتمامك بخصوص الصراع الذي دار بين إنجلترا وإسبانيا وبلغ ذروته في الأرمادا، فعليك برواية فرود Froude: "رجال البحر الإنجليز في القرن السادس عشر" Engkish seamen of te aixteenth century . وإذا كنت مهتماً بالمعارك البحرية الكبرى التي قررت مجرى التاريخ من معركة "سالاميس" حتى معركة "جتلاند" (في الحرب العالمية الأولى)، فاقرأ كتاب "معارك بحرية شهيرة" Famous sea fights، تأليف ج.ر. هيل J.R.Hale.

وعندما انتهى نابليون من هزيمة جميع القوى الأخرى في أوروبا، وشرع في تنصيب إخوته ملوكاً على الرغم من عدم جدارتهم بالملكية، وقفت في وجهه العشرون ميلا من البحر في مضيق دوفر، وصدته عن غزو إنجلترا، فقد كان يمتلك جيشاً منتصراً، وكانت لديه عبقرية مذهلة في الفنون الحربية، ولكنه كان وجيشه عاجزين عن لمس التربة الإنجليزية طالما كان الأسطول البريطاني مسيطرا على البحار. وأسفرت هزيمة الأسطول الفرنسي على يد الأدميرال "نيلسون"، تلك الهزيمة التي بلغت أوجها في موقعة "الطرف الأغر" التي دارت عام ١٨٠٥، عن بقاء إنجلترا أعظم قوة بحرية في العالم.

كذلك أسفرت معركة "جتلاند" وتدمير الأسطول الألماني في نهاية الحرب العالمية الأولى عن انتهاء التحدي الخطير التالي الذي قامت به قوة أوروبية أخرى ضد السيادة البحرية الإنجليزية. أما هزيمة القوة البحرية اليابانية وتدميرها في الحرب العالمية الثانية فقد خرجت منها الولايات المتحدة وهي تملك أقوى أسطول في العالم. وهكذا نرى أن الصراع الطويل الأمد من أجل السيطرة على البحار، الذي بدأ ببعض معارك طواها النسيان بين الزوارق الحربية القديمة، قد أسفر في أيامنا هذه عن السيادة المطلقة للشعوب الناطقة بالإنجليزية على جميع محيطات العالم.

وإذا استعرضنا تاريخ العالم وجغرافيته، تكشفت أمامنا حالة غريبة ظهرت في السنين الأربعمائة الأخيرة. تلك هي انتشار الشعور الأوروبية وتحكمها في أمريكا الشمالية والجنوبية، وأستراليا، وجميع أجزاء إفريقيا

باستثناء جزء صغير، وأغلب الجزر البحرية، وذلك على الرغم من أن أوروبا أصغر كثيراً من آسيا أو إفريقيا. وحتى وقت قريب، كانت الشعوب الأوروبية تسيطر على نصف آسيا تقريبا، بل ومازالت تسيطر، حتى بعد انسحاب إنجلترا من الهند وبورما، على جزء كبير من مساحتها الهائلة. على أن هذه الحال لم تستمر على الدوام، فقد بدت الشعوب الآسيوية عدة مرات وهي على وشك اكتساح أوروبا، إذ توغلت قبائل "الهون" في فرنسا من الشرق، وتوغل العرب فيها من الجنوب، وغزا الأتراك جميع شعوب البلقان وحاصروا فيينا. فكيف ولماذا وصل الأوروبيون إلى مكانتهم الحالية في العالم؟

في رأيي أن الإجابة عن هذا السؤال تكمن في سيادة الشعوب الأوروبية على المياه وسيطرتهم على البحار. فقد بنوا سفنا أفضل، وأنتجوا بحارة أفضل وأكثر إقداما، كما أن سفنهم قد نقلتهم إلى أقاصي الأرض وضمت إليهم قارات جديدة. وبعد معركة "ليبانتو" لم تستطيع قوة آسيوية أخرى تهديد السيادة البحرية للأوروبيين أو سلالتهم حتى هزمت اليابان، في مياهها الإقليمية، الأسطول الروسي الضعيف الناقص الإعداد في عام ١٩٠٤– ١٩٠٥. على أن حلم اليابان في أن تصبح قوة عالمية اتضح أنه من غرور العظمة، إذ تبدد بتدمير أسطولها في الحرب العالمية الثانية.

وعلى الرغم من أن معارك بحر المرجان، وميدواي، وخليج "ليتي" Leyty قد دارت على نمط مخالف لنمط معركتي سلاميس وليبانتو، فإنها أسفرت عن نفس النتيجة التي أسفرت عنها هاتان المعركتان. وعلى جين

أن أوروبا كثيرا ما خسرت أمام آسيا على الأرض، فإنها لم تتعرض مطلقا لهزيمة خطيرة طويلة الأمد في البحر. وهكذا أتاحت سيادة الأوروبيين على البحار، كملاحين ومحاربين على حد سواء، أتاحت لهم ولأحفادهم التحكم في حرية العالم، والتفوق في التجارة، والقدرة على امتلاك قارات بأكملها من أجل توطين الزائد من سكانهم.

وليس هناك من يستطيع منا أن يتنبأ بما يحمله التاريخ في طياته بالنسبة إلى السيطرة على البحار، ولكن التاريخ يدلنا على أنه عندما تتعرض دولة وصلت إلى القوة البحرية للهزيمة في البحر، فإنها تأخذ في الضعف والاضمحلال عادة. فهكذا كان الدرس الذي تعلمناه من كريت، وسالاميس، وسيراقوز، وليبانتو، والأرمادا.

ولا شك أن الحروب البحرية الحديثة تختلف اختلافاً كبيراً عن أية حروب بحرية سابقة. فالبخار، والدروع، والمدافع ذات المدى الهائل، والأهم من ذلك كله: الغواصات والطائرات، كل ذلك أدى إلى تغيير جوهر هذه الحروب، وأساليبها، وخططها، واستراتيجيتها تغييرا كبيرا. على أننا نستطيع أن نكون على ثقة من أن أفضل السفن، والبحارة، والطيارين لا يكسبون المعارك إلا إذا كان لديهم قواد أكفاء. كذلك يمكننا أن نكون على ثقة من أن السيطرة على البحار مازالت تقرر مصير الأمم ومجرى التاريخ، وذلك على الرغم من تغير أساليب وطرق تأمين هذه السيطرة والاحتفاظ بها.

الفصل الثالث

المضخات والسفن، واستخدام الإنسان للبخار

لقد رأينا أن الإنسان البدائي لم ينتفع بالماء إلا قليلاً، بالإضافة إلى استخدامه في الشرب، كما تفعل الحيوانات الأخرى، وفي التنقل على صفحته في زوارق صغيرة. ولا يخفى أنه اصطاد منه السمك بواسطة الرماح، والشصوص، والشباك. ولكن من الصعب أن يعد هذا استخداما للماء. وعندما بدأ المصريون، والإغريق، والرومان يدرسون الماء دراسة جدية، لاحظوا أنه يجري دائما إلى أسفل إذا سنحت له الفرصة، وأنه لا يجرى مطلقا إلى أعلى ما لم يدفع أو يمتص. ولا شك أن العجلات المائية (السواقي) ترفع الماء، ولكنها تقوم بذلك عن طريق حمله في الدلاء.

وكان اختراع المضخة الماصة (الطلمبة) أمرا لا بد منه بعد أن عرف الإنسان أن من الممكن رفع الماء في عود من القش أو ساق من البوص عن طريق جذب الهواء من الطرف العلوي لهذا العود أو الساق. وليس هناك من يعرف على وجه التحقيق متى استخدمت المضخة الماصة أو من الذي اخترعها.

ولكن من المؤكد أنها كانت مستخدمة على نطاق واسع قبل أن يصبح المبدأ الذي بنيت عليه مفهوما بوضوح. ويتلخص هذا المبدأ في أنك عندما تجذب الهواء من أنبوبة غمر طرفها السفلي في كوب به ماء، يزال

جزء من وزن الهواء الضاغط على سطح السائل في الأنبوبة، ولكن سطح الماء في الكوب يظل تحت الضغط الكامل، ولذلك يرتفع الماء في الأنبوبة حتى يصبح وزن عمود الماء فيها مساوياً تماماً للفرق بين ضغط الهواء داخل الأنبوبة وخارجها. وإذا أمكنك سحب جميع الهواء من الأنبوبة، فإنه يمكنك رفع الماء فيها حوالي ثلاثين قدما. وهذا كل ما يستطيع الضغط الجوي أن يفعله لنا، فإذا أردنا رفع الماء مسافة أعلى، فلا بد لنا من دفعه أو استخدام سلسلة من المضخات الماصة على التوالي. والواقع أن اختراع المضخة كان خطوة كبيرة نحو السيطرة على الماء، إذ استطاع الإنسان بفضلها رفع الماء إلى أعلى، وهو أمر ثبت نفعه إلى أقصى حد.

والأرجح أن أول استخدام للمضخات كان بقصد نزح الماء من السفن، وكان هذا العمل أفضل من استعمال الدلاء في ذلك، إذ أنه أبقى كثيراً من السفن التي يتسرب إليها الماء طافية، وأنقذ أرواحاً لا حصر لها. وأخذت أهمية المضخات تزداد شيئاً فشيئاً مع انتشار استخدام البوصلة، وقيام البحارة بمغامرات بحرية طويلة بعيدة عن مرأى اليابسة. فعندما كانت السفن صغيرة، وكانت تظل دائماً بالقرب من الشاطئ، كان من الممكن نزح الماء منها أو سحبها إلى الشاطئ عندما يصبح التسرب خطيراً. أما عندما يتسرب الماء فجأة إلى السفن الكبيرة في أعالي البحار، فإن المضخات تكون هي الوسيلة الفعالة الوحيدة لإبقائها طافية. ومن السفن، انتشر استخدام المضخات إلى الآبار والمناجم، وأخيراً إلى الشبكات المائية في المدن، وكذلك في نزح الماء من الأراضي المنخفضة، وفي أغراض أخرى شديدة التباين.

وكان رفع الماء بواسطة المضخات بأيدي الإنسان وعضلاته عملا منهكاً للقوى، ولم يكن بوسع الشخص الواحد أن يرفع إلا كمية قليلة نسبياً من الماء يومياً. وليس من المستغرب إذن أن تكون هذه العملية إحدى الأغراض الأولى التي استخدمت فيها الطاقة الآلية، وقد سبق أن رأينا أن الساقية التي تحركها الحيوانات كانت مستخدمة منذ أقدم العصور في رفع الماء من أجل الري. ثم جاءت بعد ذلك العجلات المائية والطواحين الهوائية. وليس هناك من يعرف متى استخدمت هذه العجلات، ولكن المعتقد أن الإغريق استخدموها في طحن الحبوب قبل العصر المسيحي. أما الطواحين الهوائية فكانت مستخدمة في القرن الثاني عشر، وربما قبل ذلك بكثير. ثم أقيمت فيما بعد أعداد كبيرة من هذه الطواحين الهوائية في هولندا لرفع الماء من الحقول الواطئة الواقعة خلف السدود التي تصد البحر.

وفي عام ١٥٨٢، قامت لندن بعمل جديد مدهش ومهم، إذ استدعى شيوخ المدينة مهندساً هولندياً يدعى "بيتر موريس" Peter Moris" قام ببناء وحدة للمضخات تحت جسر لندن. وكانت هذه الوحدة تتكون من ست عشرة مضخة متصلة بعجلات رفع المياه التي تحركها تيارات نهر التيمز. وكانت المضخات ترفع الماء من النهر، ثم تدفعه في مواسير خشبية ممدودة في الشوارع. واستمرت هذه الوحدة تقوم بعملها لمدة مائتي عام.

وقد جاءت صحوة الحضارة المادية في صورة بحث وراء القوة،

واستخدام هذه القوة في الأعمال النافعة. وفي البداية لم يكن الإنسان يملك إلا قوة عضلاته وحدها، وكان تقدمه بطيئاً. ثم استأنس الحيوانات، وجعلها تعمل في نقل الأحمال، وجر المحراث، وتوفير القوة اللازمة لتحريك السواقي.

وقد استخدم الإنسان القديم تيارات الأنهار وموجات المد في المحيطات والبحار لتحريك زوارقه. وبعد ذلك بكثير، تعلم كيف يدير الطواحين بواسطة الطاقة المتولدة من انحدار الماء. وقد منحه ذلك مصدرا للقوة، ولكن استخدامها، كما هي الحال في طواحين الهواء، كان محصوراً في نطاق ضيق. وحتى اختراع الآلات الكهربية وابتكار أساليب النقل الكهربي، لم يكن الإنسان يستطيع استخدام القوة المائية إلا في حدود مسافة قصيرة جداً من عجلة رفع المياه (الساقية).

ولكم حلم الناس وفكروا في استخدام الحرارة المتولدة من حرق الوقود مصدرا للطاقة والدفء. فقد استخدم "هيرو السكندري"[١٠٧] حرارة شعلة المذبح في فتح أبواب أحد المعابد مسببا دهشة بالغة دون شك بين المتعبدين، ولكن هذه الطريقة، مثلها في ذلك مثل توربينه البخاري، لم تكن أكثر من لعبة غريبة. ولم يسفر هذا الاستخدام للطاقة عن نتائج عملية، وسرعان ما طواه النسيان.

([١٠٧]) عالم رياضي يوناني، عاش في القرن الأول قبل الميلاد، واخترع آلات متعددة، منها نافورة ومضخة لإطفاء الحريق، وهو أول من نبه إلى إمكان استخدام البهار مصدراً للطاقة. (المترجم)

ومع ازدياد حجم السفن والمدن، وازدياد عمق المناجم، ازدادت الحاجة إلى مصدر أفضل للقوة المحركة للمضخات. فالطاحونة الهواية لم تكن تعطي إلا مقادير صغيرة جداً من القوة المتقطعة التي لا يمكن التنبوء بها. وعندما طلع فجر القرن الثامن عشر على أوروبا التي بدأت تشعر بالحاجة الشديدة إلى القوة، وتدرك أهميتها، كان استخدام القوة المائية محصورا في نطاق ضيق جداً لا يتجاوز بضعة أقدام من المجرى الذي يدير الطاحونة. فالمدن كانت بحاجة إلى الماء، والمناجم الغنية هجرت بسبب تجمع الماء أكثر من اللازم فيها. والأفران العالية كانت في حاجة إلى دفع الهواء بقوة أكبر مما يهيئه لها المنفاخ اليدوي.

وكان النول الذي يدار بالطاقة والمغزل الآلي على وشك الظهور في انتظار شئ يحركهما، وكانت الصناعة، مثل "بروميثيوس"[١٠٨] Promerheus عاجزة عن مساعدة الإنسانية، ومقيدة في الصخر بسبب عدم كفاية العضلات الضعيفة والرياح غير الثابتة. وكان اختراع الآلة البخارية هو الذي حطم الأغلال وحور المارد ليرفع حمل المضخة والمجداف عن عاتق جزء كبير من البشر المنهكين. وهكذا أتيح للصناعة والاختراع أن يستمرا، بفضل ما لدى الوقود والبخار من قوة محركة لا حدود لها، "في منح حياة الإنسان منافع لا نهاية لها".

([١٠٨]) بروميثيوس كلمة يونانية تعنى المتنبئ. وهو مارد في الأساطير الإغريقية وهب النار والفنون إلى البشر، فعاقبه الإله زيوس على ذلك بتقييده في جبل السلاسل، حيث نهش نسر كبده، ولكن هرقل خلصه من قيوده وحرره. (المترجم)

وقد جاء حل هذه المشكلة على يد عالمين إنجليزيين، هما: "توماس سيفري" Thomas Savery، و "توماس نيوكمن" Thomas Newcomen. وأدى عملهما هذا إلى تغيير مجرى التاريخ آخر الأمر، وذلك حين وضعاً الرفاهية والقوة في أيدي أمم تمتلك رواسب هائلة من الفحم، ولديها الذكاء والقدرة اللازمة لاستخدام هذه الموارد.

وقد حصل توماس سيفري، على براءة اختراع لآلة رافعة للماء في عام ١٦٩٨، وكانت هذه الآلة البدائية جداً تستخدم ضغط البخار مباشرة لدفع الماء، والتفريغ الناتج عن تكاثف البخار لجذب مزيد منه. ولم يكن بها مكابس، كما لم تكن صالحة لأي غرض آخر ما عدا رفع الماء. على أنها كانت – مع ذلك – أول مضخة بخارية تحظى بنجاح تجاري، وكان "سيفري" يطلق عليها اسم "صديقة عامل التعدين".

وفي عام ١٧٠٥، قام "توماس نيوكمن" بتصميم آلة أصبحت تعرف باسم "آله البخار الجوي". وكان لهذه الآلة كباس، ولكن التشغيل كان يحدث فيها بفعل التفريغ الناتج عن تكاثف البخار، لا بفعل ضغط البخار. وكانت آلة "نيوكمن" بدائية وبطيئة ومعيبة إلى حد كبير بالقياس إلى الآلات الحديثة، ولكنها كانت أفضل بكثير من مضخة "سيفري"، وسرعان ما حلت محلها. وهكذا اهتدى الإنسان آخر الأمر إلى الوقود مصدراً للطاقة اللازمة، وإلى البخار وسيلة لاستخدام هذه الطاقة، فامتلك المرجل (الغلاية) والآلة (المحرك). وأصبحت الطاقة في متناول يده، متحركة وبلا حدود. فعكف ببطء على تطويرها، ذلك التطوير الذي قدر له أن يخلق

عالماً جديداً مختلفاً.

وقد بدأ استخدام آلات "نيوكمن" استخداماً عاماً في حوالي عام ١٧١١، وتمكنت هذه الآلات في خلال السبعين سنة التالية من إبقاء المناجم الإنجليزية خالية من الماء. وعلى الرغم من أنه كان يمكن استخدامها في أغراض أخرى، فإن أغلبها اقتصر عمله على تحريك المضخات اللازمة للمناجم وأعمال نقل الماء، بل أن بعضها كان يستخدم في رفع المياه اللازمة لتحريك عجلات رفع الماء.

وشهد عام ١٧٦٣ حدثا عظيماً آخر في سلسلة الأحداث التي تستهدف البحث عن مصدر أكبر وأرخص للطاقة، وذلك حين أخذ "جيمس وات"، وهو صانع آلات يعمل لدى جامعة جلاسجو، نموذجا لآلة "نيوكمن" لإصلاحه. وقد دهش عندما رأى مقدار البخار الذي يفقد في عملية تشغيلها، وتوصل إلى علاج لذلك. وفي عام ١٧٦٥، حصل على براءته الأولى لاختراع آلة بخارية أدخلت عليها التحسينات. واستمر في إدخال هذه التحسينات التي زادت قدرة الآلة البخارية ونشرت استخدامها إلى حد بعيد. والواقع أن التغييرات التي أدخلها على هذه الآلة بلغت درجة من الأهمية والفائدة جعلت كثيراً من الناس يعتقدون أنه هو مخترعها. وقد قام "وات" بالاشتراك مع "ماثيو بولتون" Matthew Boulton بعملية إنتاج الآلات وتسويقها بنجاح كبير، وحمى هذه الصناعة من جميع المنافسين. بل أنه احتكر عملية الإنتاج العالمي للآلات الجيدة لفترة ما.

وقد أدت التحسينات التي أدخلها "وات" إلى تخفيف وزن الآلة البخارية بدرجة تسمح بنقلها، وإلى تمهيد الطريق لظهور السفن والقاطرات البخارية. والواقع أن الأعمال التي قام بها "سيفرى" و"نيوكمن" و"وات" كانت لها فائدة لا تقدر بالنسبة إلى إنجلترا؛ فقد مهدوا الطريق للثورة الصناعية –التي تميزت بالإنتاج الهائل لجميع أنواع السلع بواسطة الماكينات التي تحركها الآلات البخارية – وجعلوا إنجلترا في طليعة البلدان التي تمارس هذه الثورة الصناعية، والوريث الأكبر للثروة الناتجة عنها.

ومن الصعب أن نتخيل كيف كان يمكن أن تكون الحضارة لو لم تمكن خواص الماء العجيبة الإنسان من استخدامه في تحويل الحرارة المنطلقة من حرق الوقود إلى طاقة آلية (ميكانيكية)، فليست هناك مادة أخرى كان يمكن أن تحل محل الماء في أولى عمليات توليد الطاقة من الوقود، إذ أن رخص الماء ووفرته والارتفاع الكبير لحرارته النوعية وكذلك لحرارة تبخره الكامنة، بالإضافة إلى نقطة غليانه الأقل من درجة غليان المعادن، والأعلى من نقطة غليان الغازات، كلها شروط ضرورية في هذه العملية. والمادة الوحيدة الأخرى التي استخدمت على نطاق واسع في المراجل والتوربينات هي الزئبق الذي لا يستخدم إلا بمصاحبة البخار في وحدات توليد القوى.

ولتحاول أن تتخيل تقدم الحضارة بدون آلات بخارية في المصانع، وقاطرات بخارية للنقل، وسفن بخارية تقطع المحيطات والأنهار، وآلات وتوربينات بخارية لتحريك المولدات الكهربية. وقد تجد لك مخرجاً من هذا المأزق، فتقول: "أن الآلة الداخلية الاحتراق تحول هي الأخرى الطاقة

الحرارية إلى قوة آلية، وأن الإنسان كان سيهتدي، إن عاجلاً أو آجلاً، إلى طريقة لاستخدامها".

ولكن من المؤكد أن ذلك كان سيحدث في وقت متأخر جداً، وربما لم يكن ليحدث على الإطلاق، إذ أن الآلة البخارية هي التي مهدت الطريق لغريمتها، أي الآلة الداخلية الاحتراق، فالآلات التي قامت ببناء أولى قاطرات الجازولين (داخلية الاحتراق) كانت تتحرك بالبخار، والبترول الذي كان الجازولين (البنزين) يصنع منه كان ينقل بواسطة قاطرات بخارية، والمعرفة التي أتاحت للإنسان بناء آلات الاحتراق الداخلي اكتسبت من صنع آلات بخارية أسهل وأبسط تركيبا.

بل أننا نجد، حتى اليوم، أن الميزات الاقتصادية وغيرها من الميزات التي تشتهر بها الوحدات الكهربية الضخمة التي تعمل في محطات توليد القوى ترجع إلى التوربينات البخارية الضخمة التي تحركها. أما محركات الديزل، التي هي أكثر المحركات الداخلية الاحتراق كفاءة وقدرة، فهي ليست منافساً عملياً لهذه التوربينات البخارية في حالة الوحدات الكهربية الضخمة.

وعلى الرغم من أن اختراع الآلة البخارية قد غير مجرى الحضارة بأكملها، فإن أولى المراجل والآلات البخارية كانت قاصرة بدرجة يرثى لها. وقد تركز الجهد الذي بذل من أجل تحقيق درجة أعلى من الكفاءة في توليد القوة من البخار على استخدام ضغوط ودرجات حرارة أعلى حتى

من الضغوط ودرجات الحرارة السابقة. وكانت آلة "نيوكمن" تعمل بالبخار عند درجة ٢١٢ تقريباً، وكان يحدث تفريغ جزئي في الأسطوانة عند اندفاع المكبس.

أما "وات" فقد استحدث استخدام البخار بالضغط، ولكنه لم يتجاوز قط ضغطاً يتراوح بين سبعة وعشرة أرطال. وقد توصل من جاءوا بعده مباشرة إلى ضغوط أعلى تدريجياً، ولكن حرارة البخار في آلاتهم لم ترتفع عن ٣٠٠ درجة.

وفي عام ١٨٢٤ قام "نيكولا ليونار سادي كارنو" Nichoias Leonard sadi Carnot وهو عالم فرنسي وواحد من أكثر المفكرين أصالة وعمقاً في تاريخ العلم، بنشر بحثه الشهير عن قوة الاحتراق المحركة والآلات اللازمة لاستخدامها. وأوضح في هذا البحث أن قدرة أية آلة تتحرك بالحرارة تتناسب مع الفرق بين درجات الحرارة في الوسط المحرك عند بداية دورة التشغيل ونهايتها، مقسوماً على درجة الحرارة عند البداية. (درجات الحرارة المستخدمة الآن في الحساب درجات مطلقة). وقد أثبت "كارنو" بالتفكير المحض فقط، أن الطريقة الوحيدة للحصول على قدرة أعلى من الآلات والتوربينات البخارية، ومن ثم على مزيد من الطاقة النافعة من كل رطل من البخار، بالإضافة إلى تحسينات بسيطة في عملية التشغيل، هي البدء بأسخن بخار ممكن وإطلاقه عند أقل درجة حرارة ممكنة من الوجهة العملية.

وعلى الرغم من أن "كارو" قد رسم الطريق، فإن درجات حرارة البخار العالية بحق، وكذلك القوة الزهيدة التكاليف، كان عليها أن تنتظر مائة سنة أخرى، حتى استطاع خبراء المعادن ابتكار وتحسين مواد تستطيع الصمود في وجه عوامل الشد، والضغط، والصدأ، والإجهاد التي تصادف عند الضغوط ودرجات الحرارة المرتفعة. والواقع أن وحدات توليد القوة البخارية الحديثة تعد فخراً للتعاون بين العلم والصناعة، وهي تعد أعظم منجزاتهما العديدة مساهمة في تحقيق رغد الحياة الحديثة واكتمالها.

والمولد التوربيني الحالي آلة رائعة، تستطيع الوحدة الواحدة منه، التي تحتاج إلى حيز صغير بدرجة تدعو إلى الدهشة، توليد ٢٠٠,٠٠٠ كيلووات (قوة ٢٧٠,٠٠٠ حصان). وعندما يرى الإنسان وحدة كهذه، صغيرة هادئة متقنة ونظيفة، يكاد يصعب عليه أن يدرك ما يحدث بداخلها، حيث يدور جهاز الدوران بسرعة ٣٦٠٠ دورة في الدقيقة، محولاً طاقة الحرارة إلى قوة آلية (ميكانيكية) يحلوها المولد بدوره إلى طاقة كهربية تكفي لاستيفاء حاجات مدينة بأكملها. وبعد أن تخرج هذه الطاقة من وحدة توليد القوى، الهواء، والقوة المحركة للآلات في آلاف من الصناعات التي تنتج كل شيء يحتاجه الإنسان، من أربطة الأحذية حتى السفن التي تبلغ حمولتها ٥٠,٠٠٠ طنا.

كل هذه الخدمات، وكثير غيرها، أمكن الحصول عليه بفضل الشمس، التي أنتجت مخازن هائلة من الوقود الرخيص، وكان ما أتاحها للناس هو تلك الخواص الغريبة للماء، وعبقرية رجال العلم، ومنظمي

الصناعة الحديثة والقائمين على إدارتها.

عندما يدخل الحدث الكبير

من بوابة العناء والإرهاق

ويكون نتيجة بسيطة، خالصة، صادقة، أمينة

للجهد والعمل المبذول

فإن أولئك الذين صنعوه حتى النهاية دون أن يدروا

لن تجدهم قديسين ولا حكماء

وإنما هم أناس قاموا بنفس العمل

الذي يتقاضون عليه أجرهم.

(كبلنج، في "عبيد الأجور")

والواقع أن غلاية وحدة توليد القوى الحديثة التي تنتج ١٠٠,٠٠٠ كيلووات أروع بكثير من التوربين والمولد معاً، فهي بناء يضارع في ارتفاعه مبنى مكوناً من تسع طوابق. وتستطيع إنتاج ٤١٥ طنا من البخار في الساعة، ويتطلب تشغلها أكثر من ٨٠٠ طن من الفحم يومياً. أما أنابيب الغلاية المكونة من الصلب السبيكي فيبلغ سمكها حوالي ثلث البوصة فقط، وفي خارج الغلاية توجد غرفة الاحتراق الساخنة إلى درجة البياض وفيها غازات ملتهبة عند درجة ٢٠٠٠ أو أكثر ، أما في داخلها فيوجد

ماء أو بخار عند درجات حرارة تتراوح بين ١٥٠ درجة و٦٠٠ درجة . ويبلغ معدل انتقال الحرارة خلال جدارها المعدني درجة هائلة. ولا بد أن يكون دوران الماء والبخار سريعا للغاية، وإذا فشل هذا الدوران لأقصر فترة ممكنة، فليس هناك معدن يستطيع تحمل الحرارة والضغط الناتجين

وكثير من وحدات توليد القوى تطلق البخار عند ضغط يعادل ١٢٥٠ رطلا على البوصة المربعة، ولكن بعضها بعمل بنجاح عند ٢٣٠٠ رطل. وتتراوح درجات حرارة البخار بين ٩٠٠ درجة و ١١٠٠ درجة. وهذا يعني أن حرارة الأنابيب التي تحمل البخار إلى التوربينات تكون فوق درجة الاحمرار، وهو شيء كان يبدو مستحيلا منذ سنوات قليلة نسبيا، ومع تحقيق ما كان يبدو مستحيلا، انخفضت تكاليف إنتاج القوة الكهربية من الوقود بحيث أصبحت أقل من تكاليف إنتاجها من كثير من مشروعات القوى المائية، وهكذا جنى الناس ثمار الكفاءة والبحوث العملية في صورة مزيد من الطاقة بأسعار أقل.

وعلى حين أن أسعار الفحم، والمعدات، وأجور العمل والضرائب قد ارتفعت، فإن دولاراتنا التي انخفضت قيمتها لا تزال قادرة على شراء كمية من الكهرباء أكثر مما كانت تقدر على شرائها منذ عشر، أو عشرين، أو أربعين عاما، تلك هي النتائج المذهلة والمجزية بنفس الدرجة لاستغلال الماء في حالته الثالثة من أجل استخلاص درجات حرارة عالية وضغوط مرتفعة.

وفي عام ١٨١٧ أقامت مدينة فيلادلفيا حفلا كبيرا بمناسبة عيد ميلاد واشنطون، بلغ أوجه في ليلة تجمع فيها خمسمائة شخص في صالة أضيئت بواسطة ألفي شمعة ظلت مشتعلة لمدة خمس ساعات، وقد تكلفت هذه الشموع مائة وخمسين دولارا، وهو مبلغ يوازي اليوم ثلاثمائة دولارا على الأقل، بالإضافة إلى مصاريف تركيبها وإشعالها. وأعطت إضاءة تعادل قوة ألف شمعة أما اليوم، فإن بضعة مصابيح كهربية تستمد طاقتها من محطة توليد بخارية نائية، يمكن أن تزودنا بمزيد من الضوء لنفس المدة بسعر ١٥ سنتا. وهو مبلغ بعادل جزءا من ألف جزء مما كان يدفعه أجدادنا الأوائل.

كما أن بوسعنا أن نحصل على كمية من الضوء تفوق كثيرا كل ما كان يحلم به هؤلاء الأجداد، وأن نضيء هذه الكمية أو نطفئها في وقت أقل مما كانوا يستغرقونه في إشعال أو إطفاء شمعة واحدة، وحري بورثة هذه الروائع والامتيازات أن يعرفوا ويتذكروا كيف أمكن الحصول عليها، وأن يفكروا في كيفية الاحتفاظ بها وتنميتها.

عبقر طواه النسيان

كانت السفن البخارية هي الاختراع العظيم التالي بعد تحسين الآلة البخارية، وهذه قصة غاية في الطرافة، لا نستطيع أن نشير إلا إلى بعض النقط البارزة فيها، أولى هذه النقاط أن "جيمس رمزي" James Ramsey هو الذي بنى أول سفينة بخارية في العالم تنال حظا من النجاح

وتستخدم استخداما عمليا. وقد أجرى "رمزي" بهذه السفينة في الثالث من ديسمبر عام ١٧٨٧ تجربة في نهر "البوتوماك" بمدينة "شيفردستون" أمام حشد مؤلف من عدة مئات من الناس، والواقع أن هذه السفينة كانت اختراعا عجيبا إلى أبعد حد، إذ ما من شك في أنها ضمت من المعالم الجديدة الفريدة ما لم تضمه سفينة أخرى في التاريخ؛ فقد كانت أول سفينة من أي حجم تتحرك بنجاح بواسطة البخار، وكان البخار يأتيها من أول مرجل مائي ذي أنابيب يبنى أو يستخدم على الإطلاق، وكانت أول سفينة تسير بالدفع النفاث، وأول مرة يستخدم فيها الإنسان طريقة الدفع النفاث استخداما عمليا بعد أن ابتكرها حيوان "الحبار" (السيبيا) منذ مائتين وخمسين مليونا من السنين.

ومن الواضح أن مخترع هذه السفينة وبانيها لم يكن رجلا عاديا، بل عبقريا كانت أفكاره متقدمة عن أفكار معاصريه إلى درجة جعلتهم ينسونه. وعلى قدر ما هو معروف، لم يكن هذا العبقري قد رأى آلة بخارية على الإطلاق عندما قام، بمساعدة حدادين ريفيين، ببناء الآلة والمرجل اللذين حركا سفينته. ويبدو أنه لم يكن في أمريكا في عام ١٧٨٧ إلا ثلاث آلات بخارية فقط، لم يقترب "رمزي" من أية آلة منها.

وكان يوجد بسفينة "رمزي" التي كانت كبيرة بدرجة تكفي لحمل مائة جوال من الدقيق وعدة ركاب، ماسورة تمتد من مقدمتها حتى مؤخرتها، وتفتح في الماء عند كلا الطرفين وفي وسط السفينة، كانت هناك أسطوانة بخارية تتصل مباشرة بمضخة كانت الأولى من نوعها في أمريكا، وربما في

العالم أجمع، وكانت المياه تجذب إلى الداخل عند المقدمة، ثم تطرد إلى الخارج عند المؤخرة، وكانت السفينة تسير بسرعة أربعة أميال في الساعة ضد التيار، وهذه الطريقة في الدفع تستخدم الآن في أحدث سفن الإطفاء الحالية.

والسؤال الطبيعي الذي يطرأ على ذهن القارئ الذي ربما لم يسمع قط عن "جيمس رمزي" أو عن سفينته، هو: لماذا لم يبدأ "رمزي" في تشغيل السفن البخارية، ويصبح ثريا ومشهورا؟.. الجواب على ذلك بسيط ومحزن، يتلخص في أنه كان في حاجة إلى نقود، وإلى براءات اختراع لحماية ابتكاره.

وقد أعطاه "جورج واشنطون"، الذي كان رئيسه في العمل وصديقه، خطابات توصية إلى أشخاص ذوي نفوذ في فيلادلفيا، كان من بينهم "بنجامين فرانكلين" فتكونت شركة عرفت باسم "شركة رمزي" قامت بجمع الأموال، ثم أرسلته إلى إنجلترا للحصول على براءات الاختراع وتكوين رأس مال. وفي خلال شهرين من نزوله هناك عرض عليه بولتون Boulton ووات، وهما أعظم بناة الآلات البخارية في العالم، أن يدخل شريكا معهما، ولكنه اضطر إلى أن يرفض هذا العرض نظرا إلى العقود التي ارتبط بها في فيلادلفيا.

وفي عام ١٧٨٨ تسلم براءة اختراع إنجليزية لم تنص على أحقيته في سفينته البخارية ومرجله ذي الماسورة المائية فحسب، بل نصت أيضا على

أحقيته في جميع المعالم البارزة تقريبا لوحدات توليد القوى الحديثة. وفي عام ١٧٩٢ نجح بعد صعوبات جمة تتعلق بالناحية الاقتصادية أساسيا في بناء سفينة بخارية حمولتها مائة طن، ولكنه مات قبل رحلتها التجريبية مباشرة، وقد تم تشغيل هذه السفينة بنجاح في نهر التيمز بعد وفاته، ولكنه لم يترك وراءه أحدا يتابع عمله، بل خلف كثيرا من الديون، واستولى الدائنون على كل شيء، وضاع كل شيء واختفى في زوايا النسيان، على أنك تستطيع الحصول من مصلحة البراءات البريطانية على نسخة من براءته الجديرة بالإعجاب، والتي كانت نبوءة صحيحة لأشياء حدثت في المستقبل. واليوم تقوم مراجله ذات المواسير المائية بتسيير السفن في جميع أرجاء العالم، وتستخدم في جميع وحدات توليد القوى البخارية الكبيرة. كما أن الطريقة التفريغية لتبخير السوائل، واستخدام غازات العادم في تسخين ماء "التغذية"، واستخدام بخار العادم من الآلات في عمليات التسخين، وغير ذلك كثيرا من الأسس التي قامت عليها براءة اختراعه، كلها تستخدم في كل مكان.

جيمس رمزي ١٧٤٣-١٧٩٢

منذ أن تمكن الإنسان من اختراع الأشرعة والمجاديف، وجهده يتجه إلى ترويض البحار، وقد انقضى عهد القوارب الثلاثية (الطريم) والقادس وقادته البوصلة إلى شواطئ مجهولة، ثم استعان الإنسان بمعونة البخار الجبار وأصبحت تلك الطاقة المذللة رهن إشارته، وظهر رجل حالم في أرض جديدة عامرة بالأمل دفع سفينته بالنار ضد التيار. ورأى البخار قادرا على

قهر البحار، فحددت عبقريته التلقائية معالم الطريق الذي لا نزال نسير فيه إلى يومنا هذا، ولم تخب بصيرته حيثما ظل النار والبخار يخدمان إرادة الإنسان رغم أن غيره يحصدون الحقل الذي بدأ هو زرعه، فإنه هو الذي شاهد الرؤية، وأضاء الطريق.

وفي الوقت الذي كان فيه "رمزي" يبني سفنه في نهري البوتوماك والتيمز كان "جون فيتش" John Fitch ، وهو أمريكي من ولاية كونيتيكت نزح إلى فيلادلفيا يعمل على إحدى السفن البخارية. وقد استخدم "فيتش" بدالات كانت تحدث حركة دافعة في الماء، ثم ترفع وتوضع في المقدمة لإحداث دفعة أخرى تشبه دفعة مجداف الزورق إلى حد كبير، ولم تكن هذه الطريقة على درجة كبيرة من الفاعلية ولا كانت تصلح كثيرا من الوجهة العملية، ولكنه بنى في عام ١٧٩٠ سفينة كانت تنقل البضائع والركاب بين فيلادلفيا وترنتون في خط منتظم لمدة ثلاثة شهور، ولكن المشروع مني بخسارة تامة من الناحية الاقتصادية، وذلك نظرا إلى ضخامة وزن المرجل والآلات، وتعطلهما المستمر، ولكنه كان أول صاحب عملية تجارية تستخدم فيها سفينة بخارية في التاريخ، وقد مات "فيتش" في فقر مدقع وخيبة أمل مريرة.

وعلى حين أن المخترع نفسه يفشل في كثير من الأحيان في الحصول على اعتراف الناس باختراعه، فإن من يدخل التحسينات على الاختراع هو الذي يجني ربحا وفيرا، وهذه الحقيقة تتمثل بوضوح في حالة "روبرت فلتون" Robert Fuilton والسفن البخارية.

لقد ولد "فلتون" في بنسيلفانيا في عام ١٧٦٠، وأصبح فنانا ومصورا وفي عام ١٧٨٦، وهي السنة التي سبقت تجربة "رمزي" لسفينته البخارية في نهر "البوتوماك" ذهب إلى إنجلترا للدراسة تحت إشراف "بنجامين وست "Benjamin West " وهناك قابل "جيمس وات" وغيره من المهندسين، وقرر التحول إلى دراسة الهندسة، وبدأ بدراسة القنوات. وفي عام ١٧٩٦ذهب إلى فرنسا، حيث قام باختراع وبناء أول غواصة معروفة، وكانت هذه الغواصة تدار باليد وتستطيع البقاء تحت الماء لمدة ساعة، وهناك كون صداقة مع "روبرت ليفينجستون" السفير الأمريكي في فرنسا، وفي عام ١٨٠٣بنى سفينة بخارية تجريبية في نهر السين لم تحظ بالنجاح. ولما فشل في بيع غواصته إلى نابليون، أخذ فكرته وأقلع إلى إنجلترا، وهناك قام بتفجير سفينة قديمة تابعة للأدميرالية البريطانية، ولكنه عجز عن بيع الغواصة التي أحدثت هذا التفجير.

وقد تعرف "فلتون" على "رمزي" في لندن، وكان على علم بأعماله، كما رأى براءات اختراع "فيتش" ثم عاد إلى أمريكا بعد أن اشترى آلة من الآلات التي تصنعها شركة "بولتون ووات" وحصل على تصميمات أنجح السفن البخارية التي كانت تعمل في إنجلترا حينذاك، وهناك قام في عام ١٨٠٧، بالاشتراك مع "ليفينجستون" ببناء السفينة المعروفة باسم "كليرمونت" واستخدمها بنجاح بين نيويورك وألبانيا. وقد استطاع ليفينجستون، الذي كان رجل أعمال ناجحا وقوة سياسية في نيويورك، الحصول على قرار من السلطة التشريعية يعطي شركاءه حق احتكار الملاحة البخارية في نهر هدسون لمدة عشرين عاما. وكانت "الكليرمونت"

متينة البناء من الناحية الميكانيكية، وحقق الاحتكار بفضلها نجاحا تجاريا، وفي عام ١٨١٤ – ١٨١٥ بني "فلتون" لحساب الحكومة سفينة بخارية صغيرة ذات رقاصات مركزية ومزودة بالمدافع، وكانت هذه أول سفينة حربية بخارية، ثم مات عام ١٨١٥.

وتضاعفت السفن البخارية بسرعة، كان من جرائها أن احتدم نزاع حاد حول صاحب الحق في هذا الاختراع الذي كان من الواضح أنه فتح عهدا جديدا في الملاحة، وفي عام ١٨٣٨ أصدرت لجنة من الكونجرس عينت لدراسة الموضوع القرار التالي: "رأت اللجنة، بعد أن استعرضت الموضوع بأكمله، أن الفضل في بناء أول سفينة بخارية، وإثبات قدرتها بالتجربة الفعلية يرجع تماما إلى "جيمس رمزي"، على حين يرجع الفضل إلى "روبرت فلتون" في تحسين تصميمات سلفه، وإثبات فائدة الملاحة البخارية وتعميمها"

والواقع أن "رمزي" و"فيتش" و"فلتون" كانوا الرواد الأوائل في توطيد أركان الملاحة البخارية، ولا يستطيع أي واحد منهم المطالبة بكل الحق لنفسه، كما لا يمكن إنكار فضل كل منهم في القيام بجزء هام من العمل؛ فالأولان قد زرعا البذور التي قام الأخير بجني ثمارها، ومن الغريب أن ينسب إلى "فلتون" اليوم فضل شيء لم يكن ليدعي قط أنه اخترعه، على حين أن الغواصة التي اخترعها بالفعل، تنسب إلى شخص آخر.

على هذا النحو كان مجيء السفينة البخارية وتطورها، وكان الأمريكان هم الذين اخترعوها وجعلوا منها مشروعا تجاريا ناجحا، وربما كان ذلك راجعا إلى أن امريكا بمساحاتها الشاسعة، وأنهارها وبحيراتها العظيمة العالمية للملاحة، وافتقارها إلى الطرق الأرضية، كانت في أمس الحاجة إلى احتضان هذا الاختراع. وكان أول ميدان تعمل فيه السفن البخارية هو الملاحة الداخلية، ولكنها سرعان ما أخذت تعبر المحيطات، فبدأت بذلك حقبة جديدة في عمليات النقل المائي. ولم تعد السفن التجارية والحربية تعتمد على عضلات المجدفين، أو تخضع لتقلبات الرياح، إذ أن طاقة الشمس المختزنة في الفحم، وخواص الماء الفريدة استطاعت تسيير السفن إلى أهدافها مباشرة ضد الرياح والمد، ووضع البخار حدا للقيود الخاصة بحجم السفن، وأصبحت السرعات التي لم يكن من الممكن تصورها شيئا عاديا. وازداد السفر بالبحر أمانا إلى حد كبير.

وقد جلب عصر البخار معه إلى الملاحين حياة أفضل. صحيح أن سفينة "القلبر"[١٠٩] Clipper بقلوعها المشرعة كانت منظرا جميلا اتخذ موضوعا العدد لا يحصى من الصور، وأن القيام على متنها برحلة من بوسطون إلى الساحل الغربي حول "كيب هورن" أو من إنجلترا إلى الهند، كان يبدو عملا شاعريا ساحرا، ولكن الرجال الذين كانوا يسيرون هذه

---

(١٠٩) الكلمة معربة، وهي الأسرع أنواع السفن الشراعية. وهذه السفينة تتميز بأنها طويلة وضيقة وتحمل جميع أنواع الأشرعة. وقد اخترعت في الولايات المتحدة، وتسيدت تجارة المسافات الطويلة، بل وتغلبت في البداية على منافستها البخارية التي سرعان ما تفوقت على جميع السفن الشراعية بعد التحسينات التي أدخلت عليها في السبعينات من القرن التاسع عشر" (المترجم)

السفن في رحلات طويلة كانوا يعيشون حياة تكتنفها الشدائد المؤلمة، والإرهاق الفظيع، والرتابة المميتة، إذ كانوا يحشرون حشرا في أضيق الأماكن، وكانوا يتسلقون الصواري لينزلوا القلوع المتجمدة من شدة البرد، أو يطووها، وسط عواصف الثلج والبرد المتدفقة. وكان طعامهم فظيعا، وأجرهم شحيحا الى أبعد حد، ولم تكن الحياة على السفن الحربية أسهل منها على السفن التجارية، بل كانت أكثر ازدحاما منها، ولكن كانت هناك دائما فرصة للموت في الحروب، أو لنيل منحة قليلة من النقود، ومع ذلك فقد كان يعثر دائما بمساعدة عصابات التجنيد [١١٠] أحيانا، على البحارة الذين كانوا يحيون حياة صعبة، ويسيرون سفنهم ويحاربون بها في جميع أرجاء العالم.

وكان لظهور السفن البخارية العابرة للمحيطات ميزة كبيرة بالنسبة إلى إنجلترا، اذ أن مستعمراتها وأملاكها المترامية الأطراف، واعتمادها على الأطعمة والمواد الخام المنقولة عبر المحيطات، كل ذلك جعل السفن البخارية على قدر كبير من الأهمية بالنسبة إليها. وقد أطلق "كيبلينج" في استعارة رائعة، على سفن النقل البخارية الإنجليزية اسم "الماكوك البطيء" في الإمبراطورية.

---

(١١٠) عصابات من الرجال خول لها اصطياد المجندين للجيش والبحرية، وكذلك بحارة السفن التجارية. (المترجم)

وطوال الثلثين الأخيرين من القرن التاسع عشر، أخذ البخار يستبعد المجداف والشراع، ويحل محلهما في النهر، والبحيرة، والمحيط، وما أن بدأ القرن العشرين حتى جلب معه شيئا جديدا لمياه العالم، ذلك هو الآلة الداخلية الاحتراق "وقد اقترح هذه الآلة العالم الفرنسي "دينيس بابان" Denis Papit قبل عام ١٧٠٠ وكان من رأيه تسييرها بواسطة انفجار البارود، ولكن هذا لم يكن وقودا عمليا، وكان على هذه الفكرة أن تنتظر ظهور البترول ومنتجاته، وابتكار طريقة الإشعال الكهربي.

ويوجد محرك الجازولين في جميع أنواع القوارب والسفن الصغيرة تقريبا، بل لقد انتشر على شكل محركات تركب من الخارج، في قوارب التجديف الصغيرة والزوارق.. أما محرك الديزل الأكثر فعالية والأبهظ ثمنا، فيقوم الآن بتسيير كثير من السفن الصغيرة وأغلب السفن المتوسطة الحجم، ابتداء من الزوارق العابرة للأنهار والمضايق (المعديات) حتى سفن الشحن العابرة للمحيطات. أما السفن الكبيرة، سواء أكانت سفنا تجارية أو حربية، فما زالت تستخدم البخار، ويتميز المحرك الداخلي الاحتراق بكفاءته العالية، وقلة الحيز والوزن المخصصين لمراجله وخزانات وقوده، وقلة المجهود اللازم لتشغيله. وربما سيحقق الزيت، في أيام أولادنا، انتصارا كاملا على البخار يوازى الانتصار الذي حققه البخار على الأشرعة. وقد يتراءى لبعضكم أن يتساءل: أليس من الممكن أن تحل الطاقة الذرية محل البخار والزيت معا في السفن في أيام أطفالنا؟ فميزة هذه الطاقة واضحة نظرا إلى احتياج وقودها إلى وزن أو حيز صغير.

وسوف ألتزم الحذر نحو ما عسى أن يأتي به المستقبل، فأتنبأ بأن الطاقة الذرية لن تستخدم بطريقة اقتصادية في تسيير السفن قبل خمسين عاما، وقد يكون من الممكن، قبل مضى وقت طويل، أن تستخدم هذه الطاقة في تسيير سفينة عبر المحيط، ولكن هذه السفينة ستحتاج إلى معونة مالية دائمة تغطي نفقاتها، وقد يعيش بعض القراء ليروا مدى صحة رأيي أو خطئه[١١١]

وليس من شك في أننا نستطيع الحصول على الطاقة في شكل يمكن التحكم فيه من الانشطار النووي، ولكن هذه الطريقة تكاد تكون أبهظ الطرق للحصول على الطاقة. وفضلا عن ذلك، فإن هذه الطاقة تكون على هيئة حرارة يتطلب استخدامها مرجلا ومحركا بخاريا من نوع ما. والواقع أن إمكان عمل شيء لا يعني أن من الممكن إنجازه الآن، أو في أي وقت آخر، بطريقة اقتصادية؛ فالماس ثمين للغاية، وقد تعلمنا طوال خمسين عاما كيف تصنع ماسات حقيقية ولكنك إذا اشتريت ماسة اليوم ستجد أنها ليست من صنع الإنسان، إذ أن العثور عليها يتكلف أقل من صنعها.

لقد حاولت أن ألخص قصة سيطرة الإنسان على البحر، وهي قصة تبدو في أيامنا هذه مكتملة تماما، فها هي السفن التي بناها الإنسان قد جعلت من المياه في جميع أرجاء الأرض طريقا ممهدا له وميدانا لمعاركه،

---

(١١١) قامت أمريكا والاتحاد السوفييتي بالفعل ببناء عدد قليل من السفن التجارية التي تسير بالوقود الذري، أما الغواصات الذرية فقد بنت الدولتان منها عددا لا بأس به، وهو عدد آخذ في الزيادة. (المترجم)

وأخذته إلى أراض جديدة، وأعطته أطعمة جديدة، وأرته عجائب قارات جديدة لا يمكن تصورها.. وقد استخدم الإنسان في تحريك قواربه وسفنه خمسة أشكال من القوى، هي: عضلاته ذاتها، وعضلات حيواناته، والرياح، والآلة البخارية، والمحرك الداخلي الاحتراق.. أما ما سوف يستخدمه في المستقبل البعيد فلا يمكن الإشارة إليه إلا بعلامة استفهام.كذلك قام الإنسان برسم الخرائط لأقصى أجزاء البحار وأبعدها عن متناول يده، وسبر أغوارها وشقت غواصاته طريقها تحت الأمواج، أما طائراته فإنها تحلق فوق المحيطات وتربطها بعضها البعض في يوم واحد.

ولم تعد المحيطات "بحرا لا يمكن جني محصوله" كما زعم الإغريق القدماء، بل أصبحت مخزنا مليئا بالطعام. كما يمكننا عن طريقها استخلاص كميات لا تستنفد من الأملاح، والبروم، والماغنسيوم، وقد كشفت آبارنا عن مخازن من النفط على بعد أميال قليلة من الشاطئ تحت الأرصفة القارية. أما ظهور الآلات والأجهزة البحرية، الذي بدأ بالإسطرلاب [١١٢] astrolabe والبوصلة وانتهى بالراديو والرادار، فقد جرد البحر من أسوأ أهواله، وهكذا أصبح بوسع السفن التجارية في

([١١٢]) الإسطرلاب آلة كانت تستخدم في تحديد مواقع الأجرام السماوية. وتتكون في شكلها البسيط من قرص معلق مرسوم على محيطه درجات ومثبت في مركزه مؤشر، وقد حلت آلة السدس sextant محل الإسطرلاب في القرن الثامن عشر (المترجم)

أوقات السلم على الأقل، أن تغدو وتروح آمنة مطمئنة من شر القراصنة، أو أذى الإسقربوط [١١٣]، أو أخطار البحار المجهولة.

ومن الطبيعي في هذه المرحلة أن يتساءل المرء: هل انتهت القصة؟ وهل كشفت جميع الغوامض الرئيسية الخاصة بالمحيط، واستكشفت جميع البحار؟ وهل سيأتي المستقبل فقط بمزيد من التطور والتحسين لما تم إنجازه بالفعل؟

في اعتقادي أننا نستطيع الإجابة على جميع هذه الأسئلة بالنفي، والواقع أن تزايد عدد السكان بسرعة سيضطرنا إلى إيجاد مزيد من الطعام لهم، ولما كانت قدرة اليابسة على إنتاج الطعام محددة بالبرد في الشمال والجنوب وبالمساحات الشاسعة من الصحاري أو المناخ الجاف، فليس أمامنا إلا الماء نلجأ إليه للحصول على هذا الطعام، إذ أن سبعة أعشار سطح الأرض مغطى بالماء، كما يقال أن تسعة أعشار الأحياء الموجودة بها تعيش في البحر.

إن على الإنسان، خلال وقت طويل على الأقل، أن يظل يأكل أجسام الكائنات الحية، سواء أكانت حيوانية أو نباتية، وقد تطلع الإنسان القديم عبر البحار باحثا عن مناطق جديدة يستقر فيها، وأطعمة جديدة

---

(١١٣) الإسقربوط مرض ينشأ عن نقص فيتامين جـ (حمض الأسكوربيك) في الغذاء. أعراضه المميزة: نزيف في اللثة، والأنيميا، والهزال، وكان هذا المرض يشيع بصفة خاصة بين البحارة بسبب نقص ما يتناولونه من الخضروات والفاكهة الحسية (الغنية بفيتامين ج) (المترجم)

يجلبها الى وطنه. أما إنسان المستقبل فلا بد له أن يتطلع إلى الماء من أجل المزيد من الطعام الذي سيكون في أمس الحاجة إليه. وقد دلت التجارب الحديثة على أن بعض أنواع الكائنات العضوية التي تعيش في الماء تتكون أجسامها حين تنمو في ظروف خاصة، من ٧٠ % من المواد الدهنية: فتكون بذلك أغنى كثيرا بهذه العناصر الغذائية المهمة من أكثر الخنازير امتلاء بالشحم، أو أدسم أنواع اللبن.. وهذا كشف قد يبدو في يوم ما أهم من كشف البطاطس أو الذرة، أما ما يمكن أن نكون على ثقة به، فهو أن الإنسان لا بد أن يأكل ليعيش، وأن مشكلة الطعام ستظل دائما مرتبطة بالماء ارتباطا لا ينفصم.

الفصل الرابع

الري، وضبط الفيضان، والطاقة المائية

لو أن مساحة اليابسة الأرضية كانت أكبر مما هي عليه الآن، لقل مقدار الحياة التي يمكن أن تعولها هذه اليابسة. وهذا أمر يبدو متناقضا، ولكنه تناقض يسهل فهمه؛ فالحياة لا يمكن أن توجد في اليابسة إلا حينما يوجد ماء سائل، ولا يمكن أن توجد بوفرة إلا حيثما يكثر هذا الماء، وكل المياه التي تسقط فوق اليابسة لا بد أن تتبخر من المحيطات وغيرها من الكتل المائية.. وعلى الرغم من أن سبعة أعشار الكرة الأرضية مغطى بالماء، فإن هناك مساحات شاسعة من اليابسة على هيئة صحاري لا تكاد تكفل الحياة، كما أن هناك مناطق أخرى قاحلة ولا تكفل الحياة إلا لعدد قليل جدا من الأحياء، فلو أن مساحة اليابسة كانت أكبر، لقل السطح الذي يمكن أن يتبخر منه الماء، ولقلت تبعا لذلك الأحياء التي يمكن أن تنتشر فوق مساحة أكبر. وهكذا يصبح مقدار الحياة الكلية على اليابسة أقل، يتضح من هذا أن فرصة الحياة في مساحة معينة من اليابسة، ومقدار الحياة الذي تستطيع هذه المساحة أن تعوله، لا تتوقف على اتساع هذه المساحة، بل على كمية الأمطار التي تسقط عليها.

وليست نسبة الصحاري والأراضي القاحلة هي وحدها التي يمكن أن تكون أكبر كثيرا لو أن سطح الأرض كان مقسما بالتساوي بين اليابسة

والماء مثلا، بل أن المناخ أيضا يمكن أن يصبح في هذه الحالة أكثر تقلبا، وعنفا، وإرهاقا ذلك لأن ما ينفرد به الماء من حرارة نوعية وحرارة بخر عالية، كما رأينا من قبل يجعله أعظم ملطف ومعدل للحرارة؛ فالمساحات المائية تستطيع اختزان كميات هائلة من الحرارة، ولما كان الماء قابلا للحركة في حالاته الثلاثة جميعا، فإن هذه الحرارة يمكن أن توزع بواسطة التيارات والرياح المحيطية على الأجزاء الباردة من العالم، ونحن لا نعرف مادة أخرى كالماء تستطيع تحقيق هذا التساوي في درجات الحرارة، وتفي – في الوقت نفسه – بالحاجات الأخرى للحياة.

والأرجح أن النسبة بين سطح اليابسة والماء تكاد تكون هي النسبة الصحيحة اللازمة لإعالة أعظم مقدار ممكن من الحياة في كوكبنا، أما توزيع الأمطار على اليابسة فهو غير متساو إلى حد كبير، سواء من ناحية المكان أو الزمان؛ فهو يتراوح بين لا شيء تقريبا و ٤٠٠ بوصة في السنة. كما أن الفصول في بعض البلدان يكون بعضها مطيرا أكثر من اللازم، بينما يكون بعضها الآخر جافا شحيح المطر. وقد بدأ الإنسان منذ وقت بعيد في معالجة هذه العيوب الطبيعية وذلك باتباع أساليب الري المختلفة في المناطق التي تزودها الطبيعة بكميات شحيحة من الماء، وبحفر القنوات وتصريف المياه في المناطق التي تغزر فيها الأمطار .

والنباتات لا تستطيع أن تعيش حيث يوجد ظلام، أو برد، أو جفاف زائد عن الحد، ولذلك تشترك أعماق المحيطات، والقارة القطبية الجنوبية، والصحاري الشديدة الجفاف في صفة واحدة، هي: انعدام الحياة النباتية

بها. أما الحيوانات التي تسكن أو تزور هذه المناطق فلا بد أن تبحث عن غذائها في الخارج، أو يجلب لها هذا الغذاء من أماكن يمكن للنباتات أن تعيش فيها؛ فطيور البطريق التي تسكن المنطقة القطبية الجنوبية تعيش في اليابسة، ولكن لا بد لها أن تذهب إلى الماء لتعثر على الأسماك أو غيرها من الحيوانات البحرية التي تعتمد آخر الأمر على النباتات البحرية، أما مخلوقات الأعماق المحيطية المظلمة فتعيش على أجسام الحيوانات والنباتات التي تتساقط عليها من المناطق المنتجة للنباتات بالقرب من السطح، أو تأكل بعضها البعض.

وقد أظهرت الحيوانات براعة فائقة في التغلب على تطرفات الظلام والبرد. إذ أنها تعلمت أن تنتج أضواءها الخاصة في أعماق البحار، وتغطي أجسامها بالفراء والريش لتقي نفسها غائلة البرد، ولكنها جميعا لم تجد عن الماء بديلا فهي، كالجمل، تستطيع تخزينه فقط، أو الاقتصاد في استعماله، فتتحمل بذلك العطش فترات طويلة.

ومع تزايد سكان العالم، تزايدت أيضا الحاجة إلى الطعام، وكان من الطبيعي أن تكون أولى الأراضي المنزرعة في الأراضي الخصبة المروية جيدا، وفي البلدان الكثيفة السكان استغلت هذه الأراضي استغلالا شديدا طوال أجيال عديدة، وعندما يقل معدل الأمطار السنوية في أرض ما عن ثلاثين بوصة، تعد هذه الأرض شبه قاحلة، وفيها يمكن معالجة هذا باتباع أساليب الزراعة الجافة، وكذلك في السنوات التي يتصادف فيها سقوط أمطار أغزر، ولكن متوسط إنتاجها يكون هزيلا، وتكون الزراعة فيها غير

مضمونة النتائج، وعندما تقل الأمطار عن عشرين بوصة ولكن تزيد على اثنتي عشرة، تصبح الأرض قاحلة، وبدون رى لا تصلح لشيء إلا للمراعي المتناثرة. أما إذا قلت الأمطار عن اثنتي عشرة بوصة، فإن الأرض تعد صحراء، وتشتمل جميع القارات على مناطق من الأراضي الصحراوية، والقاحلة، وشبه القاحلة التي يمكن أن تصبح خصبة وسهلة الفلاحة إذا ما جلبت إليها المياه.

ومساحة الأرض الزراعية اللازمة لإنتاج الطعام الذي يكفل مستوى لائقا من المعيشة لشخص واحد تبلغ فدانين ونصف الفدان [١١٤] ، ولكن متوسط هذه المساحة في العالم يقل الآن قليلا عن فدان واحد للفرد، وقد تضاعف سكان العالم أكثر من مرتين في الفترة الواقعة بين عامي ١٨٦٠ و ١٩٦٠فمن أين جاء الطعام اللازم لتغذية هذه الزيادة الكبيرة المفاجئة من السكان.. ولقد حصل عليه الكثيرون عن طريق استصلاح الأراضي الجديدة، وتحسين أساليب الزراعة واستنباط نباتات أفضل، وزيادة الأسمدة، وعن طريق الري قبل كل شي ومع ذلك، فإن الزيادة اللازمة في إنتاج الطعام لم تتحقق بالنسبة الى ثلث سكان العالم الحاليين على الأقل ، ولذلك كانت تغذيتهم ناقصة، كما أن كثيرا منهم يعيشون على حافة الجوع المخيفة المؤلمة. وما من شي ينمو بغير ماء، ولكن المحاصيل المختلفة

([١١٤]) استخدمنا هنا كلمة الفدان بدلا من كلمة " الأكر" التي وردت في النص الانجليزي ، وذلك للتسهيل على القارئ وتبلغ مساحة الأكر٤٠٤٧ متر مربع. وهو أصغر قليلا من الفدان .(المترجم)

تتفاوت بدرجة كبيرة من حيث حاجتها الى الماء، فلكل رطل من المادة الجافة في النبات وحبوبه، تحتاج الحنطة إلى ٣٠٠ رطلا من الماء، والشعير إلى ٤٠٠ رطلا، والشوفان إلى ٥٠٠ رطلا.

وهذه الأرقام تقابل كمية من الأمطار تعادل – على التعاقب – ١٣.٢ ، و١٩٠٦ و ٢٦.٤بوصة أثناء موسم النماء، ويحتاج البطاطس إلى ٤١٥–٥٨٠ رطلا من الماء لكل رطل من المحصول الجاف الناتج، ويتطلب إنتاج وتكرير رطل من سكر القصب ألفي رطل من الماء، ولا يخفى أن المقادير التي ذكرت توا تتفاوت إلى حد ما تبعا لطبيعة التربة التي تنمو فيها هذه النباتات.

ويتميز الري على سقوط الأمطار الطبيعي بميزة كبرى: إذ يستطيع الفلاح بواسطته ري محاصيله في الوقت الملائم بالكمية اللازمة تماما، فلا ينتابه ذلك الألم الذي يصيب من يرى زرعه يتلف ويذوي بفعل الجفاف في سنة، ثم يراه وهو يقصف ويتسكع بفعل ميول الأمطار الجارفة في السنة التالية. ولكن يتعين عليه، من الناحية الأخرى، أن ينفق أموالا كثيرة ويبذل جهدا كبيرا في حفر القنوات وتدريج الأرض من أجل إعدادها للري: وإذا كان الماء الذي يستخدمه يحتوي على مواد قلوية، فهناك دائما خطر من أن تتسرب إلى أرضه كميات كبيرة من هذه المواد بحيث تجعلها غير صالحة للزراعة.

وفي خلال الخمسين سنة الأخيرة، ظهرت في كل أنحاء العالم مشروعات كبيرة للري؛ فالهند كانت في أمس الحاجة إلى الري بسبب كثافة سكانها وعددهم الهائل، وبسبب مناخها الحار، وفصولها الجافة الطويلة. وقد أقام الإنجليز فيها، قبل أن يجلوا عنها، أضخم مشروعات للري في العالم، هيأت مصدرا مضمونا من الماء لملايين الأفدنة. وكانت هذه المشروعات في الواقع سباقا بين المهندسين وبين المجاعة الناتجة عن الزيادة السريعة في عدد السكان الهنود. ومع ذلك، فعندما تزداد وسائل العيش في الهند يزداد السكان على الفور، ويعود ملايين من الناس ثانية إلى الجوع، وهكذا يبدو أن المجاعة من المتفوقة في هذا السباق.

ومن المؤكد أن الري قد وفر الغذاء لملايين من الناس، وسيوفره أيضا لملايين أخرى في المستقبل، ولكنه لن يقدم الحل الأخير لمشكلة تغذية السكان، فالمساحات التي يمكن ريها محدودة، على حين أن قدرة الجنس البشري على التكاثر تبدو غير محدودة. وهكذا لا تزال المشكلة التي أثارها "مالتوس"[١١٥] في عام ١٧٩٨ قائمة كشبح ماثل ينذر بالشر في الطريق الذي نأمل أن يؤدي إلى رفاهية البشر.

([١١٥]) توماس روبرت مالتوس (١٧٦٦ – ١٨٣٤) اقتصادي إنجليزي، من رواد الدراسات الحديثة لمشكلات تزايد السكان، كان يؤمن بأنه لا مناص من التردي في الفقر لأن السكان يزيدون بمتوالية هندسية، على حين أن وسائل العيش لا تزيد إلا بمتوالية حسابية. وكان في رأيه أنه لا يحد من نمو السكان الطرد إلا الحروب والمجاعات والأوبئة والتعفف الجنسي غير أن الدراسات السكانية التالية أثبتت خطأ كثير من آرائه (المترجم)

وقد أقامت الولايات المتحدة، ومازالت تقيم مشروعات ري ضخمة في المناطق الغربية القحلة وكثيرا ما تكون هذه المشروعات مصحوبة بضبط الفيضان، وتوليد الطاقة الكهربية، وتكاد هذه المشروعات تعتمد دائما على السدود المائية؛ ولذلك يتعين علينا أن نذكر شيئا عن توليد الطاقة من المياه المنحدرة، وعن السدود التي تحجز هذه المياه وتخزنها في الأنهار الكبرى كنهري كولورادو وكولومبيا.

بيانات عن السدود الكبيرة

من أوائل الدروس التي تعلمها الإنسان، وأكثرها أصالة وأهمية، تخزين أي شيء يكون مورده أو استهلاكه غير منتظم؛ فالثمار والحبوب الصينية لا بد من جمعها وحفظها للاستهلاك الشتوي، وقد عرف السنجاب، والنحل، وبعض الحيوانات الأخرى هذا العمل، ومارسته قبل ظهور الإنسان بوقت طويل.

والسهام يمكن إنتاجها بمعدل ثابت، ولكن استخدامها غير منتظم، ولذلك كان لا بد من تخزينها، وهكذا الحال في الماء؛ فسقوط الأمطار غير منتظم، وكذلك استخدامها في كثير من الأحيان، ولهذا كان من الضروري تخزين الماء، وهذا التخزين يعني عادة إنشاء خزان أو بركة.

وتتضمن مشروعات تزويد المدن بالماء بناء سدود لتكوين الخزانات، وللسدود أهمية مزدوجة بالنسبة إلى توليد القوى المائية ومشروعات الري؛ فهي لا تقتصر على تحقيق التخزين اللازم للتغلب على التفاوت في الإمداد

والاستهلاك بل ترفع أيضا منسوب الماء حتى تكون هناك قوة أكبر لتحريك الدولاب المائي في وحدة توليد القوى، أو لإتاحة الفرصة للماء كي يتدفق بفعل الجاذبية إلى الأراضي التي يراد ريها.

وقد بنيت السدود من عدة مواد، فقد بدأت القنادس (كلاب الماء) هذه العملية بواسطة الطين وأعواد الخشب، ويجوز لنا أن نصف مادة البناء هذه بأنها طمي مسلح. والأرجح أن أول السدود التي بناها الإنسان كانت شبيهة إلى حد بعيد بتلك التي بنتها القنادس الدؤوبة، وبعد ذلك استخدمت الصخور غير المصقولة، والكتل الخشبية، والأخشاب المصقولة، والأحجار، والخرسانة المسلحة، وقد عدنا الآن إلى استخدام التراب؛ إذ أن بعضا من أضخم الخزانات قد بنيت بتجميع أكوام هائلة من التراب المبطن بالأحجار في الأماكن التي يحدث فيها تآكل بواسطة الأمواج، والمسلح بالخرسانة حول المخارج والمسارب.

وقد خصصت لتخزين الماء في السنوات الأخيرة بعض من أعظم المشروعات الهندسية، إذ بنيت سدود ضخمة لإيجاد خزانات تبلغ من السمة حدا يمكن معه إطلاق اسم البحيرات عليها، ويفيد كثير من هذه السدود في أكثر من غرض واحد: كالري، والملاحة، وتوليد الطاقة، وضبط الفيضان، وإن كان بين الفائدتين الأخيرتين – كما سنرى بعد قليل – تعارض واضح، وسوف أقدم قليلا من الأرقام التي تعطي بعض المعلومات عن عدد من أكبر سدود العالم، وذلك على الرغم من أن هذه العملية قد تؤدي إلى اتهامي بالميل المفرط إلى الإحصاء.

إن سد "فورت بيك" Fort Peck المقام على نهر المسيسبي بولاية مونتانا هو أكبر السدود حجما على الإطلاق، وهو من النوع الترابي، وارتفاعه ٢٥٠ قدما. ويبلغ سمك قاعدته ميلا تقريبا (٤٩٩٠ قدما)، وعرض قمته ١٠٠ قدما، وهو أطول سد في العالم (٢١.٠٠٠ قدما) ويحتوي على ١٢٨٠٠٠.٠٠٠ ياردة مكعبة من المواد، وهي كمية تزيد على أربعة أضعاف ما يحويه أي سد بني من قبل، وقد بدئ في بنائه عام ١٩٣٣، وتم في عام ١٩٤٠، وكان الغرض من إنشائه: ضبط الفيضان، وتوليد الطاقة، والري. ويبلغ طول البحيرة التي أوجدها ١٨٩ ميلا، وامتداد شواطئها ١٦٠٠ ميلا، واتساعها عند الامتلاء ١٩.٤١٧.٠٠٠ اكر/ قدم من الماء [١١٦]، وبلغت الطاقة المتولدة منه في عام ١٩٤٧ (٢١٤.٢١٠.٠٠٠) كيلو وات – ساعة.

والأرجح أن أشهر سد شيد على الإطلاق هو سد (موفر) المقام في منطقة (الغور الأسود) Black Canyon لنهر كولورادو بين ولايتي أريزونا ونيفادا؛ فارتفاعه، الذي يبلغ ٧٢٦ قدما، يجعله أعلى سد، وأطول بناء من الخرسانة في العالم. أما بحيرة "ميد" Meed الواقعة خلفه، والتي تعد أكبر مسطح مائي صنعه الإنسان على الإطلاق، فيبلغ طولها ١١٩ ميلا ومساحتها ٢٤٦ ميلا مربعا، وتتسع لمقدار من الماء يبلغ ٣٢.٣٥٩.٠٠٠ أكر قدم عند امتلائها. وقد بني سد "هوفر" من أجل

---

(١١٦) الأكر / قدم ، حجم من الماء عمقه قدم ، ومساحته ١٠در٤٣ قدما مربعا – ومى مساحة الاكر .

توليد الطاقة وتنظيم الري، وتتجاوز طاقته المولدة للكهرباء ١.٠٠٠.٠٠٠ كيلو وات، مع إمكان رفعها إلى حد أقصى مقداره ١.٣٢٢.٠٠٠ كيلو وات. وتقوم بتشغيل وحدة التوليد الهائلة هذه مدينة لوس إنجيليس وشركة "أديسون" بولاية كاليفورنيا الجنوبية بوصفهما وكلاء عن الولايات المتحدة، وقد بلغت تكاليف هذا الخزان ووحدة توليد الكهرباء به حوالي ١٦٥.٠٠٠.٠٠٠ دولارا، وتم في عام ١٩٣٦.

وسوف يتميز سد "جراند كولي" Grand Coulee الذي سيقام على نهر كولومبيا، بقدرته على توليد طاقة كهربية تزيد على تلك التي يولدها أي سد آخر سبق بناؤه. إذ ستبلغ الطاقة النهائية لآلاته ١.٩٧٤.٠٠٠ كيلو وات. كما أنه سيوفر الري لأكثر من مليون فدان من الأراضي الخصبة القاحلة الآن. ومن المتوقع، عند إتمام هذا المشروع، أن توفر المزارع المروية والمدن المعتمدة عليه المأوى والعمل لعدد من السكان يبلغ ٣٥٠.٠٠٠ نسمة، وسد "جراند كول" سد خرساني، يبلغ ارتفاعه ٥٥٠ قدما، فيكون بذلك ثالث سدود العالم ارتفاعا. أما بحيرته فطولها ١٤٦ ميلا، ومساحتها ١٢٧ ميلا مربعا.

وفي خارج الولايات المتحدة نجد أن أعلى سد هو سد "شامبو" Champon في فرنسا وارتفاعه ٤٥٠ قدما، وأضخمها هو سد "ميتور" Mettur في الهند ويبلغ حجبه ٢.٠٠٠.٠٠٠ ياردة مكعبة. أما خزان أسوان في مصر، فإنه يرفع منسوب النيل في مسافة طولها ٢٣٠ ميلا،

ويمكنه تخزين أكثر من ٤.٠٠٠.٠٠٠ أكر/ قدم خلف قمته، ويبلغ حجمه ١.٧٣٢.٠٠٠ ياردة مكعبة

وقد أقيم سد شامبو من أجل توليد القوى الكهربية، بينما أقيم السدان الآخران لأغراض الري[١١٧] ومن الأمور المتناقضة أن السد الذي يحجز من الماء أكثر مما يحجزه أي سد آخر في العالم لا يتجاوز ارتفاعه ٣٩ بوصة، وتفسير ذلك أن بحيرة فكتوريا التي تقع في أفريقيا الوسطى وتبلغ مساحتها حوالي ٢٧.٠٠٠ ميلا مربعا هي ثاني أكبر كتلة مائية عذبة في العالم، ويوجد في مخرج هذه البحيرة الذي يغذي النيل شلالات ومنحدرات مائية صغيرة، ولذلك قامت شركة إنجليزية بتصميم سد لتوليد القوى الكهربية المائية من المجرى، وكان مقررا أن يكون ارتفاع هذا السد ستين قدما، وهو ارتفاع يسوي قمته بسطح البحيرة. ولما وجدت الحكومة المصرية في هذا المشروع فرصة للحصول على مزيد من التحكم في تدفق

---

(١١٧) لا يخفى على القارئ أن المؤلف كتب هذا الكتاب قبل البدء في تنفيذ مشروع السد العالي، وإلا لكان قد كتب عنه نبذة بوصفه واحدا من أعظم سدود العالم، ولذلك سنذكر للقارئ بعض المعلومات والأرقام الخاصة بسدنا العالي حتى يقارنها بمثيلتها في السدود العالمية الأخرى التي أوردها المؤلف، بدأ بناء السد العالي في عام ١٩٦٠، والمقرر أن تتم جميع مراحله في عام ١٩٧٠ وهو سد صخري يبلغ حجم المواد المستخدمة في بنائه ٤٠ مليون مترا مكعبا، وارتفاعه ١١٠ مترا، وسمك قاعدته عند القاع ١٠٠٠ مترا، وطوله عند القمة ٣٥٠٠ مترا، وعمق أساساته تحت النهر ٢١٠ مترا، وسيحجز خلفه بحيرة ناصر، التي يبلغ طولها ٥٠٠ كم، وعرضها ٨ كم في المتوسط، ومساحتها ٤٠٠٠ كم، والغرض الرئيسي من إنشاء السد العالي هو ضبط الفيضان وتنظيم الري، وسيزيد عند إتمامه مساحة الأرض المنزرعة حوالي مليون فدان وستبلغ قوة الطاقة المتولدة منه ١٠ مليارات كيلووات ساعة. ومن فوائده الأخرى: زيادة الدخل القومي ٢٥٥ مليون جنيه سنويا، والقضاء نهائيا على أخطار الفيضان، وتسهيل الملاحة في النهر، وزيادة الثروة السمكية، وتلطيف الجو في منطقة أسوان. وستبلغ تكاليفه النهائية ٤٠٠ مليون جنيها (المترجم)

مياه النيل الحيوية بالنسبة إلى بلدها، وافقت على دفع نفقات تعلية هذا السد مترا آخر، الأمر الذي يرفع منسوب البحيرة كلها نحو ثلاثة أقدام، ويحجز ويتحكم في كمية من الماء تزيد مرة وثلاثة أرباع المرة على كمية الماء الموجودة في بحيرة "ميد" الواقعة خلف سد "هوفر" الهائل، وهى كمية تكفي لتوفير حاجات نيويورك، التي تستهلك كميات من الماء أكبر كثيرا مما تستهلكه أية مدينة أخرى في العالم لمدة ست وثلاثين سنة.

من هذا العرض الموجز، يتضح أن الولايات المتحدة متقدمة كثيرا عن بقية العالم في بناء السدود، وفي استخدام وتخزين المياه التي تستطيع هذه السدود توفيرها تبعا لذلك. ومع تزايد عدد سكان العالم، وزيادة الحاجة إلى الطعام إلحاحا، يمكننا أن نتوقع ازدياد حركة بناء السدود بشكل كبير، خاصة في آسيا وإفريقيا، وأستراليا، وهي القارات التي تضم مناطق جرداء هائلة في أمس الحاجة إلى الري.

توليد الطاقة من الماء

رأينا كيف أدى توليد الطاقة من الوقود المشتعل بواسطة الآلة البخارية إلى تغير المناعة وحياة الناس في جميع البلدان المتحضرة، والواقع أن الإنسان استطاع الحصول على الطاقة من المياه الساقطة قبل تفكيره في الآلات البخارية بوقت طويل، ولكن توليد الطاقة المائية على نطاق واسع كان عليه أن ينتظر ظهور المعرفة الكهربية وابتكار أجهزتها، ولاستخدام الطاقة المائية من الأهمية ما يبرر لنا ذكر مزيد من المعلومات الموجزة عنها.

إذا قمت بحمل قدم مكعب من الماء، وهو يزن ٦٣.٥ رطلا، وصعدت به إلى تل ارتفاعه ١٠٠ قدم، فإنك تشعر عندئذ أنك تبذل طاقة، أي تقوم بعمل وأما إذا سقط قدم مكعب من الماء مسافة ١٠٠ قدم، فإنه يولد كمية الطاقة التي تطلبها رفعه إلى هذه المسافة. وعلى ذلك فإن المسقط المائي الضخم يطلق كميات هائلة من الطاقة باستمرار، فما مصير كل هذه الطاقة لو لم توجد وحدات توليد القوى التي تستخدمها؟

إن طاقة تقدر بقوة مليون حصان أو تزيد تتبدد أمام أعيننا في شلالات نياجارا الرائعة، صحيح أن المياه تحدث في سقوطها من هذه الشلالات أصواتنا راعدة ويتناثر منها قدر هائل من الرذاذ، وأن هذه الأصوات وذلك الرذاذ تحتاج إلى طاقة، ولكن هذه الطاقة لا تكاد تستنفد شيئا من قوة مليون الحصان، أما أين تذهب هذه القوة فالإجابة تكمن في الحرارة، إذ أن ما يزيد على ٩٥ % من طاقة المياه الساقطة تتحول إلى حرارة، وهذا ما يجعل المياه أدفأ قليلا تحت المساقط، فعندما تسقط المياه مسافة ١٦٣ قدما، كما تفعل في شلالات نياجارا، فإن حرارتها ترتفع نحو خمس درجة فهرنهايتية. ولو أن هذه الكمية الهائلة من الطاقة، التي ترفع حرارة نهر نياجارا جزءا من الدرجة فقط (وهو ارتفاع لا يلاحظه أحد ولا تحتاجه الأسماك)، لو أنها استغلت بواسطة الدواليب المائية لأمكنها إضاءة ملايين من المصابيح الكهربية وتوفير العلاقة التي يحتاجها مئات الألوف من الناس. وفي محطات القوى الحديثة الضخمة، يمكن تحويل ٨٠ % من الطاقة التي تولدها المياه الساقطة إلى طاقة كهربية وتوصيلها إلى لوحة المفاتيح في المحطة.

ولنفرض أن نهرا يبلغ متوسط ما يمر فيه من الماء فوق نقطة معينة عشرة آلاف قدما مكعبا في الثانية، ولنفرض أيضا أن هذا النهر ينساب عدة أميال عبر واد ضيق، حيث ينحدر في سلسلة من المنحدرات مسافة مجموعها خمسون قدما، فعند نهاية الوادي السفلى، يمكننا بناء سد ارتفاعه خمسين قدما بحجز الماء عاليا، ويفيض على الوادي، ثم تبنى في أسفل السد محطة توليد للقوى بها توربينات أو دواليب مائية متصلة بمولدات كهربية تحول أربعة أخماس طاقة الماء المتدفق خلالها إلى طاقة كهربية.

وعندما تكون كمية هذا الماء المتدفق عشرة آلاف قدما مكعبا في الثانية، تستطيع هذه المولدات توليد ٢٣,٩٠٠ كيلو وات في الساعة، وإذا دارت المحطة بهذا المعدل لمدة أربع وعشرين ساعة في اليوم، فإنها تولد ٨١٢,٠٠ كيلو وات – ساعة. فهل يفيد بناء هذا السد؟

إن الإجابة على هذا السؤال تتطلب مزيدا من الافتراضات، أول هذه الافتراضات أننا نستطيع بيع الكهرباء المتولدة من هذا السد بسعر ثلاثة أعشار السنت[١١٨] لكل كيلووات – ساعة. ولكن نظرا إلى أن النهر يتعرض لنوبات من الجفاف ينخفض فيها، وإلى أن الحاجة إلى الطاقة تتفاوت، فإننا لا نستطيع أن نعتمد على بيع ٨١٣.٦٠٠ كيلو وات – ساعة كل يوم في السنة، وإنما على ٧٥ % من هذه الكمية فقط؛ فيكون دخلنا الإجمالي من هذه العملية حوالي ٦٦٠.٠٠٠ دولار في السنة. ولنفرض أن تكاليف الخزان، ومحطة توليد القوى، وخط النقل الذي يوصل

([١١٨]) السنت جزء من مائة جزء من الدولار، ويساوي حوالي أربعة مليمات.

الكهرباء إلى أي مكان تستخدم فيه، وثمن الأرض التي غمرتها المياه، وغير ذلك من التكاليف الكثيرة الأخرى المرتبطة بالمشروع، لنفرض أن كل ذلك يبلغ ستة ملايين دولارا. أما الفوائد، والضرائب، والمبالغ المخصصة للاستهلاك، وهي التي تعرف بالنفقات الثابتة، فإنها تبلغ ١٠ % من الاستثمار الإجمالي، أي أنها تساوي ستمائة ألف دولارا سنويا. كما أن مصاريف التشغيل – التي تتضمن أجور المستخدمين الذين يديرون المحطة لمدة أربع وعشرين ساعة في اليوم، وقطع الغيار، والصيانة، وغير ذلك من المصاريف الطارئة الأخرى – فلن تتكلف أقل من مائة ألف دولار سنويا، وعلى ذلك يكون المشروع خاسرا لا محالة، ولا يمكن أن يكون مجزيا في هذه الظروف. وهكذا يتعين علينا أن نبحث عن نهر آخر تكون فيه تكاليف إنتاج الطاقة أقل، أو يكون سعرها أكثر ارتفاعا.

وقد يتراءى لقارئ ذي عقلية اقتصادية أن يتساءل: هل هناك مجال للمقارنة بين تكاليف الطاقة المائية وبين الطاقة المتولدة من وحدة توربين بخاري مبنية على أحدث طراز؟ أما الجواب فيتوقف على ظروف كل من الوحدتين؛ ففي وحدة توليد الكهرباء من القوة المائية، نجد أن النفقات الثابتة هي أكبر بند في المصروفات، أما الوحدة ذاتها، والسد، والأرض التي غمرها السد، والدواليب المائية والآلات الكهربية، فتتكلف عادة مبالغ أكبر كثيرا مما تتكلفه وحدة التوليد البخارية المساوية لها في الطاقة، وعلى حين أن الفوائد، والاستهلاك، والضرائب يتعين دفعها على أساس التكاليف الإجمالية، فإنه لا توجد تكاليف للوقود في حالة الوحدات المائية، فضلا عن أن العمل المطلوب فيها أقل منه في حالة الوحدات

البخارية، ومن ذلك يتضح أن نفقات إنتاج الكهرباء من الوحدات البخارية تتوقف أساسا على السعر الذي يتعين دفعه في الفحم، أو النفط، أو أي وقود آخر تستخدمه.

وقد أقيمت مشروعات توليد الكهرباء من القوى المائية في بادئ الأمر حيث كانت الظروف ملائمة للإنتاج الزهيد التكاليف، وحيث كانت تكاليف توليد الكهرباء من هذه المشروعات أقل منها في حالة وحدات الإنتاج البخارية، ولكن المقدرة الإنتاجية لوحدات توليد الطاقة من البخار زادت إلى حد كبير خلال السنوات العشرين الأخيرة، وذلك بفضل التحسينات التي أدخلت على أنواع الصلب السبيكي التي أتاحت إحداث درجات حرارة وضغوط أعلى داخل المراجل والتوربينات. أما طاقة وحدات توليد القوى المائية فكانت عالية بالفعل منذ عشرين عاما لدرجة أصبح لا يوجد معها إلا مجال بسيط لإدخال التحسينات عليها. واليوم، يمكن القول بصفة عامة أن توليد الكهرباء من البخار أرخص من بناء وحدة لتوليد الطاقة المائية.

وتتكلف الكهرباء التي تنتجها كثير من مشروعات توليد القوى المائية التي تقدمها الحكومة مبالغ أكبر كثيرا من تلك التي تنتجها وحدات التوليد البخارية، وذلك إذا نظرنا بعين الاعتبار إلى الضرائب، والفوائد التي يتعين دفعها حتى على الحكومة ذاتها. وتسترد الحكومة الفيدرالية معظم نفقات مشروعاتها من الرسوم التي تفرضها على الملاحة أو ضبط الفيضان، وهي رسوم مغالى فيها إلى حد كبير في العادة.

وليس من الممكن استخدام السد والخزان بطريقة فعالة من أجل توليد الطاقة وضبط الفيضان معا، وأسباب ذلك واضحة؛ فلنفرض أن سدا يحجز الماء خلفه إلى ارتفاع تبلغ قمته خمسين قدما. وعندئذ تنخفض كمية الطاقة التي يمكن توليدها بنسبة ٢% مع كل قدم من الماء يسمح له بالهبوط تحت قبة السد، أي أنه إذا انخفض سطح الماء تحت القمة إلى ارتفاع ٢٥ قدما تفقد الوحدة نصف قدرتها على توليد الطاقة، غير أن منسوب الماء يتعين أن يظل قريبا من قبة السد إذا ما أريد أن يكون توليد الطاقة فعالا. وبعبارة أخرى، فإن من الضروري إبقاء الخزان ممتلئا طوال الوقت، وعندما يكون تدفق النهر غير كاف لإنتاج الطاقة الكاملة، فإن هذا الإنتاج لا بد أن يخفض، أو يوقف بعض الوقت.

والسد الذي يكون منسوب الماء فيه قريبا من القمة ليست له فائدة كبيرة في ضبط الفيضان، إذ لا يكون به مكان لحجز مياه الفيضان. أما الحالة النموذجية بالنسبة إلى ضبط الفيضان فهي ألا يكون بالسد ماء مخزون، وذلك حتى يتوافر الحد الأقصى من المكان لاستيعاب مياه الفيضان، ولكن الخزان الفارغ يكون عديم الجدوى بالنسبة إلى توليد الطاقة أو الملاحة؛ أي أن السد يمكن أن يكون نافعا وفعالا في ضبط الفيضان، أو في الملاحة وتوليد القوة، ولكنه لا يمكن أن يكون كذلك بالنسبة إلى الأغراض الثلاثة معا في نفس الوقت.

ومما يؤسف له أشد الأسف أن الغالبية العظمى من مواطنينا لا يدركون المبادئ الأساسية التي يقوم عليها ضبط الفيضان إدراكا جيدا، إذ

أن مئات الملايين من الدولارات من أموالهم قد أنفقت ولا تزال تنفق باسم هذه العملية. وقد قام أشخاص ممن يتوقعون الاستفادة سياسيا من الاعتمادات المخصصة ظاهريا لضبط الفيضان بتقديم ادعاءات غير معقولة، وهو ما يتضح مما حدث في وادي التينيسي؛ فقد وجد مهندسو الجيش الأمريكي الذين عهد إليهم بمكافحة الفيضان في وادي المسيسيبي أن متوسط الخسارة السنوية التي يسببها الفيضان في واديس التينيسي قبل تكوين هيئة وادي التينيسى، تبلغ حوالي ١.٤٠٠.٠٠٠ دولارا ، وقدروا أن الإجراءات الفعالة لضبط الفيضان لا يمكنها أن تحول إلا دون نصف هذه الخسارة على الأكثر، وقد كان المتوسط السنوي لقيمة المحاصيل التي كانت تزرع في الأراضي التي غمرت الآن بصفة دائمة ٣.٥٠٠.٠٠٠ دولارا، وهذا يعني أن الخسارة الحالية تزيد على ضعفي الخسارة السابقة التي كان يسببها الفيضان..

وفضلا عن ذلك، فقد أوضحت التقارير التي أصدرتها الهيئة أن مصاريف صيانة المنشآت اللازمة لضبط الفيضان تبلغ حوالي مليون دولار سنويا، وقد قدرت الهيئة قيمة المصاريف التي أنفقتها على مكافحة الفيضان بمبلغ ثمانين مليونا من الدولارات. وتؤدي الفائدة التي تدفع على هذا المبلغ واقع ٣ % إلى إضافة مبلغ ٢.٤٠٠.٠٠٠ دولار، كل ذلك مقابل توفير مبلغ يمكن تقديره بحوالي ٧٠٠.٠٠٠ دولار سنويا.

وها هي ذي خلاصة موجزة تقريبية لنتائج ضبط الفيضان في وادي التينيسى على أساس مبلغ الثمانين مليون من الدولارات المخصصة للنفقات الدائمة، ودون الإشارة إلى الملاحة أو توليد الطاقة.

	دولار
الفائدة السنوية على مبلغ الثمانين مليون دولار بواقع ٣%	٢.٤٠٠.٠٠٠
الصيانة السنوية لمنشآت ضبط الفيضان	١.٠٠٠.٠٠٠
الخسارة السنوية في المحاصيل التي كانت تزرع في	
الأراضي التي أغرقتها مياه السد	٣.٥٠٠.٠٠٠
مجموع التكاليف السنوية دون حساب مصاريف الاستهلاك	٦.٩٠٠.٠٠٠
أو سداد رأس المال في البالغ ثمانين مليونا من الدولارات)	
يطرح من هذا المجموع المبلغ السنوي الذي يمكن توفيره نتيجة	
الوقاية من الفيضان وهو	٧٠٠.٠٠٠
فيكون صافي الخسارة السنوية التي تتكبدها الدولة	٦.٢٠٠.٠٠٠

وهكذا يتضح بما لا يدع مجالا للشك أن العلاج في هذه الحالة أسوأ من المرض ذاته.

الجهود المبذولة للتحكم في أنهارنا

لو أن الأمطار كانت موزعة على مدار السنة، وعلى مدار السنين كلها بطريقة أكثر استواء، لكانت حياة الناس الذين يعيشون بالقرب من الأنهار أسهل كثيرا، ولكن أغلب الأنهار لديها عادة سيئة، إذ ترتفع في الأوقات التي تسقط فيها الأمطار بطريقة غير عادية، وتغمر الأراضي المحيطة بها، بل أنها تشق لنفسها أحيانا مجار جديدة، وتصل إلى البحر عن طريق هذه المجاري.

ولهذا دأب سكان وديان الأنهار منذ وقت بعيد جدا على محاولة التحكم في أنهارهم، ومازالت مشكلتهم هذه غير محلولة حتى الآن. وقد عانت الصين بصفة خاصة، الأمرين من أنهارها، إذ أن النهر الأصفر يرتفع دوريا ويغرق آلافا من الصينيين ويعرضهم للموت جوعا.

وكان أول عمل قام به الإنسان لإنقاذ مساكنه وحقوله من الفيضانات هو بناء جسور صغيرة على طول ضفاف الأنهار لإبقائها في مجاريها، وهذا يبدو علاجا بسيطا وسهلا، ولكن المشكلة ليست على هذه الدرجة من البساطة. ذلك لأن الأنهار ترسب الغرين وغيره من المواد في مجاريها حيثما كان التيار بطيئا، كما هي الحال عادة في الأجزاء السفلى من هذه المجاري، فلا بد إذن من تعلية هذه الجسور كلما تراكم الراسب في قاع النهر، وهكذا فإن سطحه قد يعلو آخر الأمر على الأراضي المحيطة به. وإذن فكلما استمر النهر في رفع قاعه، يتعين على الإنسان أيضا أن

يستمر في تعلية جسوره وتقويتها. وعندما يحدث تصدع في هذه الجسور يصبح الدمار الناتج أكبر منه في أي وقت آخر، وذلك لأن النهر في وقت الفيضان يكون أعلى في الواقع من الأرض، فيفيض على مساحات هائلة، مكتسحا في طريقه المباني، ومثلها المحاصيل، ومغرقا الناس والماشية..

وهناك طريقتان أخريان لمعالجة مشكلة فيضان الأنهار: الأولى غاية في البساطة، وتتلخص في "تركها تفيض" وقد اتبعت هذه الطريقة في مصر منذ أقدم العصور ، إذ كان الأهالي يتراجعون إلى مناطق عالية كلما فاض النيل على أراضيهم كل عام. وكان الغرين المترسب يرفع مستوى المناطق المغمورة بأكملها فضلا عن قاع النهر نفسه، بحيث كان النهر لا يعلو عن الأراضي. وقد أفادت طريقة المصريين هذه إلى حد كبير في حالة أراضيهم الجافة المرتفعة الحرارة التي يمكن التنبوء فيها بارتفاع النيل المنتظم، على أنه لا يمكن اتباع طريقتهم السلبية هذه في أغلب وديان الأنهار.

أما الطريقة الثانية فتتألف من إقامة خزانات ضخمة على الأجزاء العالية من مجاري الأنهار لاستيعاب مياه الفيضان، وهذه الطريقة تفيد في تلطيف حدة الفيضانات أكثر منها في درء أخطارها، والواقع أن إقامة خزانات كبيرة بدرجة تكفي للوقاية من الفيضانات في الأنهار الكبيرة تتكلف عادة مبالغ اكبر من الخسائر التي تسببها هذه الفيضانات، وقد سبق أن ذكرنا مثلا واضحا لهذه الطريقة حين أوردنا الأرقام الخاصة بمشروع وادى التينيسي.

ولطريقة الخزانات آثار بعيدة المدى ينبغي ذكرها. أول هذه الآثار أنه بمجرد بناء السدود تبدأ الخزانات في الامتلاء بالغرين، ويصبح عدم جدواها للتخزين مسألة وقت لا أكثر، وهذا ينطبق على جميع الخزانات، بغض النظر عن الغرض منها، إذا تلقت المياه من أنهار طينية، وجميع الأنهار الفياضة طينية فالماء الذي يتحرك بسرعة يمكنه حمل الغرين والرمل بسهولة، ولكن الماء يتحرك ببطء في البحيرة أو البركة الواقعة خلف السد، ولذلك كان لا بد أن ينفصل منه قدر معين من المواد الصلبة التي يحملها، ويبدأ في ملء البحيرة أو البركة تدريجيا.

ويتراكم الغرين في خزان "روزفلت" الهائل المقام على نهر "سولت" Salt بولاية أريزونا بمعدل ينذر بالخطر فقد بلغت كمية الرواسب التي تجرف إليه من الأراضي الواقعة في سفوح الجبال التي تعمل فيها عوامل التعرية والتآكل بشدة، بلغت حدا أدى بالفعل إلى تقليل صلاحيته للتخزين إلى حد كبير. ويحدث نفس الشيء في خزان "سان كارلوس" San Carols إذ جردت أجزاء كبيرة من الأراضي التي تنصرف مياهها في هذا الخزان من الحشائش ومن غطائها العشبي، وارتفع معدل وقوع الفيضانات، وازدادت قوة تدميرها، كما اتضح أن معدل امتلاء الخزان أسرع كثيرا مما كان متوقعا، وقد أشرفت بعض البرك الواقعة خلف السدود على الامتلاء في مدة أقل كثيرا من خمسين عاما، وسوف تتعرض فائدة أغلبها للزوال في فترة تتراوح بين ثلاثين وسبعين عاما.

والواقع أن امتلاء البرك الواقعة خلف السدود أمر على جانب كبير من الأهمية بالنسبة إلى كل فرد منا، إذ أن نقودنا جميعا تنفق على نطاق واسع من أجل بناء السدود التي يفترض أنها تكافح الفيضانات، فهناك اقتراح ببناء مائة وأربعة من السدود في حوض نهر الميسوري وحده، تتكلف بلايين الدولارات، بل أن الأمر أكثر أهمية بالنسبة إلى أطفالنا الذين سيعيشون ليروا كثيرا من هذه السدود وقد أصبحت عديمة الجدوى.. وتتضح سرعة ترسيب الغرين بما لا يدع مجالا للشك إذا استعرضنا الأرقام الخاصة بأحد المجاري الصغيرة التي تتاح فيها فرص الملاحظة؛ فهناك خور "براندیوین" Brandywife Creek الذي ينبع من بنسلفانيا ويصب في نهر ديلاوير عند "ويلمنجتون" وتبلغ مساحة الحوض الذي تصرف فيه مياهه مائتي ألف فدانا، يتكون الجزء الأكبر منه من أراض مغطاة بالحشائش أو النجيل، ويرسب هذا الخور في المتوسط مليون ياردة مكعبة من الغرين في شواطئ ويلمنجتون، حيث يملأ قناتها بمعدل اثني عشرة بوصة في السنة. وتتكلف عمليات التطهير التي تقوم بها الحكومة لتنظيف القناة مائتي ألف دولار سنويا. وقد أثبتت إحدى محطات سبر الغور أن ١٣٦.٠٠٠ طنا من المواد الصلبة رسبت في هذا المجرى في يوم واحد. ويمكن تطهير الغرين من إحدى قنوات السفن الضيقة نسبيا، ولكن عندما تمتلئ المنطقة الكبيرة الواقعة خلف سد ما، لا يكون لها علاج اقتصادي ناجح، وتنتهي فائدتها في ضبط الفيضان إلى الأبد، وتتوقف هذه النهاية المؤسفة، سواء حدثت بعد ثلاثين عام أو مائة، على الظروف المحلية، ولكن نتيجتها الأخيرة واحدة ولا مفر منها.

وهكذا يتضح أن السدود ليست بالحل الأخير لمشكلة ضبط الفيضان؛ فهى لا تستطيع إيقاف تآكل التربة وضياعها، كما أنها تفقد أغلب قدرتها على التخزين إن عاجلا أو آجلا، أما الحل الفعلي الأخير فيكمن حيث تسقط الأمطار، وسنعود إلى هذا الموضوع في الفصل الثامن.

لقد ارتبطت أكبر مشكلة فيضانية في الولايات المتحدة بنهر الميسيسيبي، أكبر أنهارنا، وأطولها مع فرعه الميسوري. ويتلقى هذا النهر الماء المنصرف من جميع المنطقة الشاسعة الواقعة بين جبال "الأليجاني" Alleghenies وجبال "روكي" ثم يصبه في خليج المكسيك، وقبل أن يستوطن الرجل الأبيض وادي الميسيسيبي، كان النهر يغمر الأراضي المحيطة به، ومع تطهير الأراضي الواقعة في الوادي وفوق منحدراته من الغابات وتمهيدها للزراعة، أصبح جريان مياه الأمطار أسرع، وزادت كمية الغرين التي تحملها الجداول إلى حد كبير، وهكذا أصبحت الفيضانات أكثر حدوثا وأقدر على التدمير.. وقد غطى الفيضان الكبير الذي حدث في عام ١٩٢٧، واستمر ستة أسابيع ٢٨.٠٠٠ ميلا مربعا، وهي مساحة تكاد تعادل مجموع مساحة ولايات ماساتشوستس، ونيوهامشير، ورود أيلاند، وفيرمونت• وأغرق مساكن ٧٥٠ر٠٠٠ شخص تقريبا. وقدرت الخسائر في الممتلكات بمبلغ ٣٥٥.١٤٧.٠٠٠ دولار، وقد أنفقت مئات الملايين من الدولارات من أجل كبح جماح الفيضانات وتحسين الملاحة في هذا النهر العظيم، ومازالت المعركة مستمرة.

وقد بدأ الفرنسيون الذين كانوا أول من استوطنوا الجزء الأسفل من وادى الميسيسيبي ببناء سدود على طول النهر وروافده، وأطلقوا عليها اسم "الحواجز" أو "الجسور" levees ولا يزال هذا الاسم شائعا في جميع أرجاء الوادي. وهذه الجسور مبنية من التراب، ويبلغ سمكها ستة أقدام لكل قدم من الارتفاع، وهي ليست مقامة على ضفاف النهر مباشرة، بل تبعد عنها مسافة تتراوح بين ميل وميلين، وذلك حتى تترك مجالا أكبر لمرور مياه الفيضان.

ومن الصعب أن نتخيل الطاقة المدمرة لنهر كنهر الميسيسيبي؛ إذ أنه يلتهم ضفافه أحيانا بمعدل فدان كامل في المرة الواحدة، وقد أزال النهر بالقرب من "بوينت بليزانت" Point Pleasant بولاية ميسوري، ضفته في أحد الجوانب، مبتلعا شريطا من الأرض عرضه ميلان وطوله عشرة أميال، بما عليه من مزارع، ومساكن، وأشجار، وتربة.

وقد كانت مدينة "نيو أورليانز" محاطة بالجسور التي كانت تدرأ عنه الفيضانات. وفي مدى قرنين، ظل النهر يرفع مستوى قاعه ومستوى الأراضي المحيطة به تدريجيا بترسيب الغرين، على حين ظلت المدينة على ما هي عليه، وهكذا أصبحت الطرق التي تتجه منها إلى الخارج صاعدة في جميع الاتجاهات. واليوم لا بد من استخدام المضخات في إزاحة مياه الأمطار التي تسقط عليها وفي تصريف مجاري المدينة، ففي هذه المدينة يصعد المرء إلى أعلى ليذهب إلى النهر، وعندما يكون النهر مرتفعا تبدو السفن الراسية على الأرصفة طافية على مستوى أعلى من الشوارع.

وتنطوي هذه الحالة، بالإضافة إلى تكاليف استخدام المضخات، على بعض العيوب؛ فمنسوب الماء الأرضي يبلغ من الارتفاع حدا لا يمكن معه وجود أقبية أو "بدرومات" إلا في عدد قليل من المنازل. كما أن بناء الأساسات للمنشآت الضخمة أمر صعب باهظ التكاليف. والموتى يدفنون في مقابر فوق الأرض. ومع ذلك تحيا نيو أورليانز حياة تكتنفها السعادة والرخاء خلف جسورها الترابية.

والى الجنوب من نيو أورليانز يصب الميسيسيبي في خليج المكسيك عن طريق دلتا هائلة، الجزء السفلي منها أحراش ومستنقعات، ويتفرع النهر إلى عدة مجار ويصل الخليج عبر سبعة مصاب تعرف باسم "المعابر". وعندما يرتفع النهر، تنتشر مياهه المحملة بالطمي فوق المستنقعات، إذ أن الجسور تتوقف حيث لا تصبح الأرض صلبة بدرجة تكفي للزراعة. وفي هذا المكان، بين الأرض والبحر، يسقط الماء قدرا كبيرا من حملة من التربة المفتتة. كما أن المواد المتآكلة من المنحدرات الجبلية في ولاية مونتانا ومن حقول بنسيلفانيا تجد لها مستقرا في الدلتا. وهكذا تنتشر ملايين الأطنان سنويا فوق المستنقع وقاع الخليج.

وعلى الرغم من أن هذه العملية استمرت دهورا طويلة، فإن المستوى قد ظل على ما هو عليه تقريبا، اذ أن الثقل المتزايد يجعل المنطقة كلها تهبط تدريجيا. وقد دلت عمليات المسح التي أجريت بالقرب من مصب "المعابر" على هبوط الأرض هناك ثمانية أقدام في كل قرن. ولا يخفى أنه عندما يهبط سطح الأرض في منطقة ما، فإنه لا بد أن يرتفع في منطقة

أخرى. وهكذا يحدث من آن إلى آخر، بحساب الزمن الجيولوجي، تعديل عنيف في باطن الأرض بهذه المناطق، ربما نتج عنه زلزال مدمر يهز الوادي، كما حدث في عام ١٨١١.

إن المعلومات القليلة التي ذكرتها عن المسيسيبي تنطبق تقريبا على كثير من الأنهار، ولكن ليس عليها جميعا؛ فنهرا "سانت لورانس" و"الهدسون" مثلا، نهران هادئان، منتظمان، يمكن الوثوق بهما، ولا يسببان سوى قليل من المتاعب. وهما يستجيبان، في الجزء الأكبر منهما، لموجات المد والجزر تبعا لحركات المد المحيطية، ولكنهما يحملان طميا قليلا ولا يفيضان. ولذلك فهما يضمنان موانئ عظيمة ويصلحان للملاحة لمسافات طويلة. وبوسع أولئك الذين يعيشون بالقرب منهما أن يتمتعوا بمزاياهما وجمالهما، دون أن يخشوا غضبتهما. إنهما نهران سعيدان.

عكس الري "صرف المياه"

لقد ذكرنا بعض المعلومات عن الري، الذي يهيئ الماء في المكان أو الزمان الذي يكون فيه المورد الطبيعي ناقصا. وفي بعض الأحيان يكون من الضروري بالمثل التخلص من الماء حيثما يكون مورد المياه الطبيعي أوفر مما ينبغي. ومن المعروف أن المحاصيل الغذائية لا تنمو حيثما يشح الماء أو يزيد عن الحد. وطوال آلاف من السنين، أخذ الإنسان يعمل على جعل الصحراء مزهرة بجلب الماء إليها، وعلى إنتاج المحاصيل الجيدة من المستنقعات بنزح الماء منها. وهكذا استصلحت ملايين الأفدنة من أراضي

المستنقعات. كذلك أجبر البحر نفسه على التراجع، واستعيدت منه حقول ومزارع كانت تعوم فيها الأسماك وتزحف السراطين.

وقد استعان الإنسان، في عملية استصلاح الأرض المغمورة بالماء، بالقنوات والمصارف والجسور. وعندما تكون الطبقات السفلى من التربة غير مسامية، قد يظل الماء في التربة قريبا من السطح، ويجعلها غير صالحة للزراعة. وكثيرا ما يمكن علاج هذه الحالة بوضع ماسورة لها وصلات مفتوحة على عمق يكفي لتجنب عرقلة عمليات الحرث والزرع. هذه الماسورة تنحدر إلى قناة أو مجرى مكشوف يقع في مستوى منخفض بحيث تنساب إليه المياه بالجاذبية، وهذا ما يعرف "بالصرف".

وأحيانا يتم صرف الأحراش والمستنقعات التي ليست عند مستوى سطح البحر بواسطة الجاذبية، أما إذا كانت الأرض التي يراد استصلاحها عند مستوى سطح البحر أو منخفضة عنه، فيكون من الضروري إقامة الجسور، واستخدام المضخات في نزح الماء. وإننا لنجد في هولندا أعظم مثل للأراضي المستصلحة من البحر. وقد كان من الطبيعي أن يقوم الهولنديون بدفع البحر إلى الخلف ليحصلوا على مزيد من الأرض، إذ أن الشعب الهولندي مكافح نشيط، وهو يتزايد بسرعة، كما أن بلاده تحتوي على كثير من المستنقعات وتواجه بحارا ضحلة. والواقع أن الكفاح الذي حدث في هولندا من أجل التحكم في الماء يعد ملحمة بطولية من حيث المضمون والنطاق معا؛ فليس هناك شعب آخر عاش أقرب إلى الماء من الهولنديين، أو فعل أكثر منهم للتحكم فيه وإخضاعه لخدمة مصالحهم

ومصالح وطنهم. وليس بوسعنا أن نذكر عن هذا الكفاح، الذي يستحق وصفه ويحتاج إلى مجلدات، إلا كلمات قلائل.

لقد بدأ هذا الكفاح منذ عصور ما قبل التاريخ؛ فعندما توغل الرومان في البلاد لأول مرة، وجدوا أن "الفريزيين"[١١٩] Frisians يعيشون في قرى مشيدة فوق ربى بنوها في المستنقعات. وكانت هذه الربى ضرورية لإبعاد ساكنيها عن متناول موجات المد العالية والفيضانات. وببطء شديد، أخذ صيادو الحيوانات والأسماك الذين يعيشون في المستنقعات يقيمون الجسور ويصرفون المياه من مناطق صغيرة من الأرض، تبين لهم أنها خصبة تماما. واستمر هذا العمل مئات من السنين. وأحيانا كان الناس يحرزون تقدما طيبا، ولكن البحر كان لا يلبث أن يشن عليهم هجوما مضادا، ويردهم على أعقابهم متكبدين خسائر فادحة. كما أن الأرض خدعت سكانها مرة واحدة على الأقل، وهبطت من تحتهم؛ فقد عثر على بقايا المنشآت الرومانية تحت مستوى سطح البحر الحالي.

وفي إحدى مرات هذا الصراع، قام البحر ببناء حاجز رملي هائل عبر مصب نهر الراين، الذي أدى تراجعه إلى إغراق مئات الأميال المربعة من الأرض، وضياع كثير من الأرواح، واحتفاظ البحر بمكاسبه سنوات عديدة. ولكن الإنسان عاد من جديد، وقام ببناء الجسور وشق المجاري والقنوات التي أقام عليها بوابات للمد تسمح للمياه بالخروج منها عند

---

(١١٩) نسبة إلى قبيلة تيوتونيه كانت تقطن هولندا. ومازال هناك نوع من البقر يسمى بالبقر "الفريزي". (المترجم)

حدوث المد المنخفض، ولكنها لا ترجع عندما يرتفع المد. وحقق الهولنديون نصرا كبيرا عندما استعانوا بالرياح العالية الثابتة التي تهب على بلادهم المسطحة، وبدأوا في نزح المياه من وراء الجسور بواسطة الطواحين الهوائية.

وفي القرنين الثاني عشر والثالث عشر، خلت الكوارث على كل من كان يقطن خلف الجسور، إذ بدأت الأرض تهبط، أو بدأ البحر يرتفع، وسواء أحدث هذا أو ذاك، فقد كانت النتيجة واحدة: وهي انهيار السدود والحواجز. واندفع البحر إلى الداخل، غمر المزارع والقرى، وفي عام ١٤٢١ دمر فيضان واحد كبير اثنتين وسبعين قرية، وأدى إلى وفاة مائة ألف نسمة. ولكن الهولنديين الذين لا يقهرون واصلوا كفاحهم، فرمموا جسورهم وزادوا ارتفاعها. وفي القرون التالية سخروا الماء للدفاع عنهم، وذلك عندما عمدوا إلى إغراق مساحات كبيرة من أراضيهم لوقاية المدن التي تهددها الجيوش الغازية.

وواصلت هولندا تحسين جسورها واستعادة الأرض باطراد، وكان أعظم مشروعاتها صرف المياه من جزء كبير من منطقة "زويدر زي" Zuider zee وقد بدأ هذا المشروع في عام ١٩٢٤، وتمت مرحلته الأولى في عام ١٩٣٠. وأدى إلى انتزاع ٨٢٠ ميلا مربعا من الأرض من الماء بنفقات تجاوزت ٢٢ مليونا من الدولارات. وهكذا اكتسبت مقاطعة جديدة دون اعتداء على أي جار.

وفي أمريكا توجد مناطق شاسعة من المستنقعات والأحراش في انتظار استصلاحها، على أن الأمريكيين كانوا يملكون من الأراضي الجيدة التي لم تكن تحتاج إلا إلى تطهيرها من الأشجار، ما جعلهم لا يمسون المستنقعات التي تحتاج إلى جسور ومصارف. ويوجد بولاية فلوريدا وحدها عشرون مليون فدانا من أراضي المستنقعات. وقد استصلح جزء كبير من هذه المساحة، التي أنتجت أجزاء منها ستة آلاف رطلا من السكر في كل فدان.

وقد اتجهت الحكومة الفيدرالية إلى مستنقعات لويزيانا وأراضيها المغمورة التي تبلغ مساحتها 9,500,000 فدان، والتي كان أغلبها يتكون من التربة الغرينية الخصبة التي يمكن استصلاحها بتكاليف منخفضة نسبيا. وقد باعت الولاية جزءا من هذه الأراضي بسعر سنت للفدان، وفي عام ١٩٠٢ أصبح السعر 12,5 سنتا، ثم ارتفع في عام ١٩٠٣ إلى ٢٥ سنتا. وفي مناخ ساحل خليج المكسيك المعتدل، يمكن زراعة ثلاثة محاصيل في السنة. وهكذا يتضح أن هناك فرصا عظيمة جدا تعود بالربح الوفير على من يستصلح هذه الأراضي. ولا شك أننا سنرى عندما يحين الأوان مشروعات عظيمة تقام على طول سواحلنا المطلة على الخليج وعلى المحيط الأطلسي.

والعمل الذي قامت به هولندا، تستطيع الشعوب الأخرى التي توجد بها ظروف مماثلة إنجازه، وستنجزه دون شك. فهناك مساحات شاسعة من أراضي المستنقعات والمياه الضحلة في كثير من البلدان البحرية. وكلما

ازداد ضغط السكان، اتسع نطاق مشروعات الاستصلاح. وسوف تصرف المياه من ملايين الأفدنة التي لا تنتج الآن إلا حشائش المستنقعات ولا يعيش فيها إلا جرذان المسك، وتستخدم في زراعة المحاصيل الزراعية.

إن التطرفات الطبيعية ضارة في الزراعة كما هي في أي شيء آخر، ولكن الإنسان يستطيع بالتفكير والعمل، رفع المياه الضحلة وخفض المياه العالية حتى يوصلها إلى المنسوب المناسب، فيتاح له بذلك إيجاد الطعام للأجيال الجائعة. أما مقدار الأفواه التي يستطيع إطعامها في النهاية فيتوقف على مدى حكمته في استخدام الماء والتحكم فيه.

الفصل الخامس

الماء الذي نشربه

لقد كتبت بإيجاز عن كثير من الأغراض التي نستخدم فيها الماء، ولكني لم أذكر إلا النذر اليسير عن أهم فوائده، ألا وهو الشرب: إذ أن أحدا منا لا يستطيع الحياة أكثر من أيام قلائل دون أن يشرب الماء أو شيئا يحوي الماء.

إن صناعاتنا لا يمكن أن تعمل من غير كميات كبيرة من الماء، والماء أخلص صديق لنا وأعظم واق ضد تهديد الحريق والخوف منه. كل ذلك يعرفه ساكن المدينة العادي في البلدان المتحضرة إذا ما تراءى له في أي وقت أن يتوقف لحظة ليفكر فيه، الأمر الذي يرجح أنه لا يفعله على الإطلاق. فهو ينظر إلى مورد الماء وكأنه أمر مفروغ منه، طالما أن الماء ينساب طوع بنانه كلما فتح الصنبور. ولذلك يندر، أو يستحيل، أن يفكر في المكان الذي يأتي منه هذا الماء، وكيف يحصل عليهن والوسائل اللازمة لإعداده وتوصيله للاستخدام بكميات كافية مستمرة.

والأرجح أن الناس في الأرياف، حيث لا يوجد مورد عام للماء وحيث يأتي الماء من جدول أو من بئر، يفكرون أكثر في مصدر الماء وطريقة الحصول عليه، وخاصة لو جف هذا البئر أو ذلك الجدول. أما

سكان البلدان القاحلة أو الصحراوية، فيشغل الماء جزءا كبيرا من تفكيرهم، والواقع أنه كامن في عقلهم الباطن دائما.

وقد دعت الحكومة الفرنسية جماعة من رؤساء القبائل الذين يعيشون على حدود الصحراء الكبرى لزيارة أوروبا، وأرتهم جميع العجائب ومظاهر القوة التي تتضمنها الحضارة الحديثة. ولكن الشيء الذي انطبع في أذهانهم أكثر من غيره، وترك فيها أثرا أبقى، كان شلالا مائيا. إذ كان من العجيب حقا بالنسبة إليهم أن يروا كميات هائلة من الماء العذب البارد النقي، الذي يعد أثمن مادة في العالم، بل هو جوهر الحياة ذاتها، تضيع سدى بكميات تفوق حدود التصور. أما أكبر معجزة في نظرهم فكانت مورد هذا الماء الذي لا يتوقف لحظة، والشيء الذي لم يصدقوه أن هذا المورد لا ينضب معينه. وهكذا انتظروا حتى يروه يتضاءل أو يكل، وتمنوا – بعد أن غادروا البلاد – أن يعودوا ثانية ليروا ما إذا كان لا يزال يتدفق.

" لم يعرف الإنسان قيمة الماء الصالح بحق حتى علمه ذلك الألم والمعاناة. " **بيرون، دون جوان**

هذا الاقتباس يثير سؤالا طبيعيا، هو: ما هو الماء الصالح؟ أن الشروط الأولى التي ينبغي توافرها في الماء الصالح للشرب – وكلها سلبية إلى حد ما – توحي بها ثلاث من الحواس الخمس؛ فالماء ينبغي أن يبدو نقيا جذابا، أي صافيا، عديم اللون، ولامعا عندما يتحرك في ضوء الشمس. وينبغي أن يكون خاليا من أي طعم غير مستساغ، وهذا يعني

عادة أنه ليس له طعم حقيقي على الإطلاق. كما ينبغي ألا تكون له رائحة كريهة، وهذا يعني في الواقع أنه عديم الرائحة. ومع ذلك فقد تتوافر في الماء كل هذه الصفات المرغوبة ولكنه يكون مليئا بجراثيم بعض الأمراض الخطيرة.

والواقع أن أولى الخطوات للحصول على الماء الصالح للشرب هي وقايته من التلوث، فوق الأرض وفي باطنها على السواء. ولذلك تحاول المدن أن تحفظ المناطق والمجاري المائية التي تجلب منها موردها المائي نظيفة غير ملوثة. ومما يدل على أن هذه الفكرة ليست جديدة تماما تلك الوثيقة التي ترجع إلى عام ١٦١٢ والتي تتعلق "بالنهر الجديد" New River في إنجلترا، فقد جاء في الوثيقة المكتوبة بلغة إنجليزية عتيقة:

"إننا نصدر هذا الأمر لخلفائنا وورثتنا، فنحظر على أي شخص منهم أن يلقي أو يضع في هذا النهر المسمى "بالنهر الجديد" أي نوع من القاذورات أو القمامة أو الطين أو الحجارة أو الكلاب أو القطط أو الماشية أو أي شيء قذر أو غير صحي، أو أن يغسل أو ينظف الملابس أو الأصواف أو أي شيء آخر في هذا النهر. كما يحظر على أي شخص أن يتخذ منه مغسلا، أو يلقي فيه بمواد مصبوغة، أو بحصان ميت، أو يدفع أو يقذف بأي شيء كهذا في النهر".

ولم يكن هذا "النهر الجديد" نهرا على الإطلاق، بل كان أول قناة مائية تبنى لتزويد لندن بالماء. وقد بدأ السير "هيو ميديلتون" Hugh

Myddelton حفر هذه القناة في عام ١٦٠٩ لجلب الماء من هرتفورد شير من مسافة تبلغ ثمانية وثلاثين ميلا، وكان الماء يتدفق بفعل الجاذبية عبر هذه القناة المكشوفة التي يبلغ عرضها عشرة أقدام وعمقها أربعة. إذا كانت تنحدر بمعدل بوصتين لكل ميل، وهو انحدار أقل كثيرا من الانحدار الذي استخدمه الرومان. وكانت القناة تتبع في سيرها تعاريج التلال، وتمر عبر المجاري فوق جسور خشبية داخل أحواض خشبية مبطنة بالرصاص.

وقد قامت في وجه هذا المشروع معارضة شديدة واعترضته صعوبات جمة، واستنفدت أموال صاحبة قبل أن يتم. على أن هذا الرجل كان يبدو واسع الحيلة وقادرا على الإقناع، إذ أنه نجح في بيع نصف الحصة في المشروع إلى ذلك الذكي جيمس الأول في مقابل ثمانية آلاف جنيه.

وقد افتتح "النهر الجديد" في احتفال كبير بين مظاهر الغبطة في عام ١٦١٧. ويقال أن صاحب الأسهم الملكية "أي الملك نفسه" كان أول شخص يسقط فيه. وقد ذكر أيضا أن ستمائة عاملا وصانعا استخدموا في حفره في نفس الوقت، وأن أجورهم تراوحت بين ستة بنسات وشلن في اليوم. واستمرت "شركة النهر الجديد" في إدارة المشروع حتى عام ١٩٠٤. أما حصص المؤسسين فقد ارتفعت قيمتها إلى حد كبير، ففي عام ١٨٨٩ بيعت حصة أحد المؤسسين بمبلغ 122,800 جنيها!

وعلى الرغم من أن الحاجة إلى إبقاء الماء صافيا وخاليا من الطعم والروائح الكريهة كانت واضحة، فإن تقدم عملية التنقية كان بطيئا. واستمر استخدام الماء بنفس الحالة التي يأتي عليها من الينبوع أو النهر فترة طويلة، على أن الناس أصبحوا أكثر تدقيقا على الماء مع اتساع المدن وتزايد استخدام الماء وتنوع أغراضه. إذ بدأوا يشعرون بضرورة عدم استخدام الماء العكر، أو الذي يبدو فيه الطمي واضحا، أو الكريه الطعم أو الرائحة.

كذلك بدأ مستهلكو الماء يلاحظون أن بعض أنواع الماء كانت أفضل كثيرا للغسيل من بعضها الآخر؛ إذ وجدوا أن ماء الأمطار مناسب جدا لغسل الملابس، بل وكل شيء آخر، بما فيه أيديهم وأجسامهم. فعندما كان يستخدم هذا الماء مع الصابون كان يكون رغوة وفيرة، وينظف الأشياء بسهولة. كما أن بعض الآبار، والينابيع، والجداول كانت تعطي ماء يكاد يعادل في جودته ماء المطر. وقد أطلق على هذا الماء اسم "اليسر"، وذلك في مقابل بعض المصادر الأخرى التي كانت تعطي ماءً "عسرا". وهذا الماء لا يكون مع الصابون رغوة كافية، ولا ينظف الملابس والأوعية والأواني. وقد اهتدى الناس إلى أشياء كثيرة عندما بدأوا يدرسون الماء؛ فعرفوا أنه إذا غلى الماء العسر الصافي تماما حتى يتبخر جميعه، يتخلف راسب من المواد المعدنية في الإناء. ومع تقدم الكيمياء أصبح من الممكن معرفة السبب الذي يؤدي إلى عسر الماء.

وعندما ألقى "أنطون فان ليفنهويك" Anton van leeuwenhoek العالم الهولندي الذي كان أول صانع عظيم للمجاهر، وأول ملاحظ عظيم بها، نظره على بعض الماء الذي ترك معرضا للهواء، وجد أنه مليء بأنواع عدة من الحيوانات الحية الملتوية، وذلك على الرغم من أنه قد يبدو رائقا تماما للعين المجردة، فأخذته الدهشة هو وعلماء لندن الذين بعث إليهم بكشوفه.

والأرجح أن بعض الناس كانوا يرتابون منذ أقدم الأزمنة في أن الماء قد يكون حاملا للأمراض. ويخبرنا "هيرودوت" أنه عندما كان ملك الفرس وعائلته يصحبون الجيش في إحدى حملاته، كانت المياه التي يستخدمونها تغلي. ويبدو أن كشوف "ليفينهويك" ومن جاءوا بعده قد أكدت فكرة وجود المرض في الماء. وأثبتت قيمة تحوط الفرس، إذ أن جميع الأحياء المجهرية التي تعيش في الماء تموت عند غليه.

على أن الأطباء ومهندسي المياه لم يعرفوا عن البكتيريا والجراثيم إلا النذر اليسير حتى نشرت بحوث "باستور" و"كوخ" في القرن التاسع عشر. وكانت جراثيم التيفويد، والكوليرا، وغيرهما من الأمراض التي يحملها الماء تنمو وتتكاثر، ثم تنتشر من آن إلى آخر على هيئة أوبئة مخيفة، فتخلف وراءها للناس تعاسة هائلة، وتأخذ معها آلافا من الأرواح.

وقد جاءت أول خطوة عظيمة نحو توفير مياه أفضل للمدن في عام ١٨٢٩، وذلك حين ابتكر "جيمس سمبسون" James Simpson ،

مهندس شركتي "تشيلسي" و"لامبيث" المائية في إنجلترا، طريقة الترشيح الرملية. واستخدم في ذلك خزانا صغيرا يحوي طبقات من الأحجار الكبيرة والصغيرة، والحصى والرمل، مرتبة بحسب وضعها في القاع. وكانت المياه تدخل الخزان فوق الرمل، ثم ترشح خلاله الى أن تخرج من فتحته في القاع. وقد وجد أن هذه الطريقة تصفي الماء العكر بدرجة لا بأس بها. ولكن استخدامها انتشر ببطء شديد، لأنها كانت تحتاج إلى طبقات ترشيح ضخمة للحصول على كمية معقولة من الماء.

وفي خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر، عرف قدر هائل من المعلومات عن الماء وعن الجراثيم التي تسبب الأمراض، إذ كشف العالم الفرنسي "باستور" والعالم الألماني "كوخ" عن كثير من المعلومات عن البكتيريا، وأثبتا أن كثيرا من الأفكار المتفق عليها بشأنها كانت خاطئة تماما. وهكذا توطدت الحقيقة القائلة أن أوبئة التيفويد والكوليرا يمكن أن تنشأ من موارد المياه الملوثة بفضلات الإنسان.

وهذا التلوث كان شائعا جدا؛ ففي عام ١٨٢٧ ذكر أحد التقارير أن المياه التي زودت بها سبعة آلاف عائلة في "وستمينستر" بإنجلترا كانت في "حالة مؤذية للعين، ومنفرة للنفس، ومدمرة للصحة"، وأوضح التقرير أن المصدر الذي كانت تحصل منه "شركة توصيل المياه الكبرى" بلندن لم يكن يبعد عن فتحة إحدى البالوعات الكبرى إلا مسافة ثلاث ياردات.

وبوسعي أن أتذكر وباء للتيفويد حدث في "سوث بيثليهم" South Bethkehem بينسيلفانيا في عام ١٩٠٤. وكانت هذه المدينة تستمد ماءها من نهر ليس بالكبير هو نهر "ليهي"، الذي كانت تصب فيه مدينة "أليتاون" Allentown وهي مدينة تعدادها أربعون نسمة وتقع على بعد خمسة أميال فقط من النهر، نفاياتها غير المطهرة. كذلك كانت مدينة "بيثليهم" تقذف بفضلاتها في هذا النهر. وبالإضافة الى تلقي هذا النهر التعس لنفايات المجاري وفضلات المصانع، كانت مياهه تتحول الى اللون الأسود بفعل غبار الفحم المتصاعد من المناجم المتناثرة حول "موتش تشنك"Mauch Chunk في الأوقات التي تعزر فيها الأمطار. ولم تكن هذه المياه مناسبة للإنسان، أو الأسماك، أو الدواجن إلا إذا طهرت تطهيرا دقيقا، وهو ما لم تقم به مدينة "سوث بيثليهم".

ومع انتشار استخدام المرشحات الرملية، برز هذا السؤال المهم، وهو: هل يمكن لهذه المرشحات أن تخلص الماء من جراثيم المرض؟ وكان من الطبيعي أن يرتاب مهندسو الصحة في قدرة المرشحات على ذلك، لأن أصغر المسافات التي توجد بين حبيبات الرمل كانت أكبر من البكتيريا التي يراد إيقافها بنحو ثلاثين ضعفا. وقد أمكن الاهتداء إلى إجابة جزئية على هذا السؤال في عام ١٨٩٢ عندما حدث وباء خطير للكوليرا في هامبورج بألمانيا. وكانت مدينة "التونا" Altona الصغيرة تقع أسفل همبورج مباشرة على نهر "الألب" Elbe. وكانت تلك المدينتين تستمدان حاجتهما من الماء من هذا النهر. ومن المؤكد أن ماء "التونا" كان أردأ من ماء "هامبورج" لأن نهر "الألب" الملوث بالفعل كان يتلقى المجاري من هامبورج

قبل أن تأخذ التونا حاجتها منه. ومع ذلك فقد كانت مياه هامبورج تقدم إلى المستهلكين دون ترشيح، على حين كانت "التونا" تستخدم مرشحات رملية. ولذلك عانت هامبورج الكثير من الكوليرا، بينما لم تحدث في "التونا" إصابة باستثناء حالات طفيفة أصيبت بالمرض نتيجة للعدوى.

وقد كان لإثبات أن الترشيح الرملي العادي يطهر المورد المائي من جراثيم الكوليرا أثر بالغ، أدى إلى دفع الهندسة الصحية خطوة هائلة إلى الأمام، وأثبتت المزيد من الدراسة والتجربة أن عملية الترشيح هذه يمكن أن تزيل أيضا جراثيم التيفويد. وهكذا انفتح الطريق أمام تنقية الماء الفعلية، وإنفاذ آلاف من الأرواح. وقد اكتشف فيما بعد أن البكتيريا تحتجز وتمنع من المرور بواسطة طبقة من الدياتوم، والطحالب، وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة التي تتكون على سطح الرمل. أما المرشح الجديد المكون من الرمل النقي فإنه لا يحجز الجراثيم، وأثبت "كوخ" في النهاية أن المرشح الرملي المعد بطريقة مناسبة يمكن أن يتخلص من ٩٨% من البكتيريا.

وأخذ عد المدن التي تنشئ وحدات للترشيح يتزايد باطراد، وخاصة تلك التي كانت تستمد الماء من الأنهار التي تفرغ فيها المدن الأخرى نفاياتها وفضلاتها. وأحرزت العملية تقدما كبيرا، بفضل التجارب التي أجريت في "لويزفيل" louisville بولاية كنتاكي في المدة ما بين عامي ١٨٩٥ و ١٨٩٧ بإشراف "جورج فولر" george fuller تلك التجارب التي وضعت قواعد الترشيح الرملي فيما يتعلق بالترويب (تخثر المحاليل

الغروية) والترسيب. وقد زادت هذه العمليات من قدرة المرشحات إلى حد بعيد. وتستطيع وحدات الترشيح الحديثة إعداد كمية من الماء يوميا تزيد مائة ضعف على ما كانت تعده عملية الترشيح الأولى البطيئة، وذلك بالنسبة إلى مساحة محددة من المرشح، وهذا يعني بالطبع انخفاضا كبيرا في تكاليف الوحدة ونفقات تشغيلها.

وعلى الرغم من الحوادث المتكررة التي أثبتت الأخطار والخسائر الناجمة عن تلوث المجاري والأنهار بواسطة نفايات المصانع والمجاري، فقد استمرت القاعدة المتبعة، وهي ترك الأنهار تتلوث ثم تنقية مياهها أو البحث عن مورد بعيد لجلب الماء منه، بدلا من منع التلوث أصلا. ومع الازدياد الهائل في عدد السكان والنمو الكبير في الصناعة، تطور تلوث الأنهار الأمريكية بسرعة إلى مشكلة خطيرة، لا يزال الأمريكيون يعانون منها حتى اليوم. والواقع أن هذه المشكلة تؤثر في صحة كل فرد وسعادته. فالجداول، والبحيرات، والأنهار، والخلجان ليست مصادر للحصول على الماء فحسب، بل للحصول على الطعام أيضا. ولكن الأسماك، والمحار، والجمبري، لا تستطيع النمو في المياه الملوثة، بل لا تستطيع الحياة في كثير منها. ولقد خلت كثير من المجاري المائية التي كانت ذات يوم جميلة وخصبة من الحياة تقريبا، وأصبح بعضها لا يزيد على مصارف مكشوفة للنفايات والفضلات.

وقد كانت مدينتا شيكاجو وميلوكي تصرفان مجاريهما طوال سنوات عدة في بحيرة ميشيجان، التي كانت تزودهما أيضا بمواردهما المائي.

وأصبحت هذه الحالة غير محتملة في شيكاجو أولا، وهكذا حفرت فيها قناة صرف تفرغ مجاريها في نهر الينوي ومنه إلى المسيسيبي. ولم يكن هذا، بالطبع، سوى حل وقتي. أما الحل النهائي فهو إنشاء وحدة للتخلص من الفضلات. وتستطيع الوحدة الحديثة من هذه الوحدات استعادة جزء من الفضلات للبيع على هيئة سماد، وتحويل جزء آخر إلى غاز يمكن إشعاله لتوفير الحرارة أو الطاقة، وإزالة الجزء المتبقي بالترسيب أو تحويله إلى مواد غير ضارة بفعل البكتيريا والتهوية. وتكون النواتج الخارجة من هذه الوحدات رائقة بدرجة تكفي لاستخدامها في كثير من الأغراض الصناعية. والواقع أن الوحدة الحديثة للتخلص من الفضلات تعطي مثلا واقعيا لعملية بقاء المادة. وفيها تستخدم مبادئ الكفاءة الصناعية والاقتصاد في مشكلة من أهم مشكلات الحياة الحضرية وأصعبها.

وبوسعنا، بإبقاء الماء نظيفا في جداولنا وأنهارنا وبحيراتنا وخلجاننا، والمحافظة عليه من الإفراط في الصيد، أن نعيد وفرة الحياة التي وجدها المستوطنون الأوائل من: أسماك، ومحار، وسرطان (أبو جلمبو)، وأصداف، وبط مائي. وليس هذا فحسب، بل بوسعنا أيضا أن نستعيد كثيرا من جمال الجداول، ومداخل المياه، والشواطئ بالتخلص من القاذورات، والأوساخ، والنفايات التي تفسدها الآن وتلوثها.

لقد بذل الكثير من أجل التخلص من الفضلات، ولكن هذه ليست سوى بداية، ينتظر أن يتلوها الكثير، فجميع الفضلات ينبغي معاملتها في وحدات التخلص، كما ينبغي التدقيق في منع تفريغ النفايات

الصناعية والمخلفات الفحمية غير المطهرة في مجاري المياه، مع اتخاذ الإجراءات الكفيلة بتنفيذ القانون الخاص بهذا الموضوع.

ومن أشهر الأمثلة لتنظيف أحد الأنهار ما يجري الآن في نهر "سكولكيل" schylkill وينبع هذا النهر الذي كان من قبل صافيا وجميلا من منطقة استخراج الأنثراسيت في بنسيلفانيا، ثم ينساب مسافة ١٣٠ ميلا، وأخيرا يصب في نهر ديلاوير بفيلادلفيا. وهو المصدر الطبيعي الذي يزود فيلادلفيا، وريدنج، وكثيرا من المدن الأصغر بالماء. ولكنه، لسوء الحظ، المستودع الطبيعي أيضا للنفايات والفضلات الصناعية التي يخلفها أحد الوديان الصناعية الكبرى الكثيفة السكان، إذ يتلقى في منبعه كميات هائلة من النفاية الناتجة عن غسيل الفحم عند مواضع استخراجه، وعن انجراف أكوام النفاية الهائلة المعروفة باسم التراب الفحمي والتي تخرج من المناجم، وهذه المواد، التي حملها النهر، ترسبت بطول قاعه على هيئة وحل، وضفاف، وشعاب. وبلغ الماء درجة من الكثافة والتلوث بالغرين والفضلات وصف معها بأنه "أثقل من أن يستخدم في الملاحة، وأخف من أن يستخدم في الزراعة".

وهكذا أصبح المجرى الذي كان ينبغي أن يكون مثالا للجمال والمتعة شيئا كريها تعافه النفس وتشمئز منه. وعند مصب هذا النهر، تؤدي المياه الملوثة إلى إتلاف طلاء السفن بسرعة عند ترسانة بناء السفن التابعة للبحرية بفيلادلفيا، أما الروائح والأبخرة المتصاعدة منه فتبعث على الغثيان وتسبب التآكل.

والواقع أن عملية تطهير نهر "سكولكيل" وإعادته إلى حالته الأصلية عملية هائلة وصعبة، ولكنها سائرة في طريقها قدما وتبشر بالنجاح الأكيد آخر الأمر. وسوف تتحمل الولاية والحكومة الفيدرالية معا التكاليف المباشرة للمشروع، وهي تقدر بخمسة وخمسين مليونا من الدولارات. وسيبتدئ المشروع بتطهير أربعين مليون طن من الطمي والقاذورات من قاع النهر. وقد أقرت القوانين اللازمة لمنع المزيد من التلوث. واتخذت شركات الفحم إجراءات مشددة بالفعل لإبعاد النفايات الفحمية الناتجة عن عمليات الغسيل عن النهر. وسوف تلزم المدن والبلدان أيضا بإقامة الوحدات والصناعات اللازمة للتخلص من الفضلات الضارة حتى لا تصل إلى النهر على هذه الحالة. وسوف تزيد الأموال التي تنفقها المناجم، والمدن، والمصانع لمنع لتلوث عن التكاليف المباشرة لعملية تطهير النهر. وسوف يتطلب إتمام هذا العمل سنوات عديدة، ولكن بشائر التحسن أخذت تظهر بالفعل. وإذا أمكن تطهير هذا النهر وإبقاؤه نظيفا، فسوف يكون جديرا بجميع النفقات التي أنفقت عليه.

ويراقب هذا المشروع باهتمام بالغ المهندسون الصحيون، ورجال الصحة، وحشد من الأشخاص الآخرين، وإذا حقق المشروع نجاحا معقولا، فسوف يؤثر تأثيرا هائلا في جميع أرجاء البلاد، كما أنه قد يفتح عهدا جديدا في تطهير الأنهار. لقد ترك نهر "سكولكيل" ليتدهور إلى بالوعة مكشوفة، لا يصلح لأي شيء، سوى تهديد صحة سكان الوادي الذي يجري فيه، وإقلاق راحتهم. فإذا أمكن إصلاحه وإعادته سليما مفيدا،

فهناك أمل في تطهير جميع الأنهار الأمريكية الملوثة الآن، وإبقاء تلك التي لم تتلف بعد نظيفة.

والأمراض التي يحملها الماء نادرة الآن نسبيا في الولايات المتحدة، إذ أن أغلب المدن والبلدان، والضواحي، بل وأكثر من المجتمعات الريفية تتوافر لها إمدادات كافية من الماء الجيد الذي يمكن استخدامه بلا قيود وشربه بلا خوف. وإن الآلاف ممن لم يفكروا قط في موردهم المائي إلا عندما يدفعون قائمة الحساب، وممن لم يفكروا في المهندس الصحي على الإطلاق، ليدينون بالفضل في راحتهم وصحتهم بل وحياتهم إلى وحدات الترشيح وإلى الرجال الذين يصممون هذه الوحدات ويديرونها.

والواقع أن المهندس الصحي هو خط دفاعنا الأول ضد كثير جدا من عوامل الأذى والضرر، وهو الذي يهيئ لنا أهم وسائل الراحة والرفاهية في الحياة العصرية، ولكن مشاكله لا تنتهي أبدا بتزويدها بماء الشرب المأمون.

وتستخدم وسائل الترسيب، والترويق، والترشيح في عملية إزالة المواد غير المرغوب فيها من الماء. وفي بعض الأحيان يكون من الضروري أيضا وضع الكيماويات فيه، مثل الكلور والفلور، اللذين اكتشفا معا في عام ١٧٧٠ على يد الكيميائي السويدي "كارل فيلهيلم شيله" karl Wilhelm Scheele وينتمي هذان العنصران إلى المجموعة الكيميائية المعروفة باسم "الهالوجينات" halogens. والكلور – الذي يشتق من ملح

الطعام العادي، وهو كلوريد الصوديوم – يفيد جدا في إبطاء نمو الطحالب، التي كثيرا ما تكون مصدرا للمتاعب في الشبكات المائية، كما يفيد في قتل الجراثيم.

والفلور أقدر العناصر على الاتحاد بجميع العناصر الأخرى تقريبا باستثناء الغازات "النبيلة"[١٢٠] المحبة للعزلة، فهو يستطيع في كثير من الأحيان تحليل المركبات الثابتة واختطاف ما يروق له منها. وفي حالته النقية يكون غازا باهت الاصفرار، صعب الاستعمال إلى حد بعيد، إذ أنه يتفاعل مع أغلب الأواني، كما أنه سام تماما، واستنشاقه معناه الموت، ولكن مركباته الصوديومية التي تستخدم في علاج الماء غير ضارة. وهناك شيء واحد يجعل من وجود الفلور في الماء مشكلة: هو تأثيره في أسناننا. فهو يدخل في تركيب عاج الأسنان بكميات ضئيلة، ولكنه يؤثر في نوع هذا العاج تأثيرا هائلا. ففي بعض الأماكن يعاني الناس من بقع لونية داكنة في أسنانهم. على حين أن قليلا من المناطق الأخرى ترد منها تقارير تفيد بأن نسبة تلف الأسنان فيها، المعروف بالتسوس، أقل كثيرا منها في بقية أنحاء البلاد.

والحالة الأولى سيئة، أما الثانية فسارة لكل شخص ما عدا طبيب الأسنان. وقد شرع في إجراء بحوث مستفيضة من أجل الاهتداء إلى الجاني

---

[١٢٠] تعرف أيضا بالغازات الخاملة أو النادرة، وهي: الهليوم، والنيون، والأرجون، والكريبتون، والزينون، والرادون. وتتميز بأنها لا تكاد تظهر ميلا للاتحاد بغيرها من العناصر. وباستثناء الرادون، يمكن الحصول عليها جميعا من الغلاف الجوي.

وفاعل الخير. وأخيرا اكتشف أنهما نفس الشيء، ألا وهو الفلور. وقد عرف الآن أنه إذا كان الماء يحتوي على جزء من الفلور تقريبا في كل مليون جزء منه فإن الأطفال الذين يشربون من هذا الماء يعانون قليلا من تسوس الأسنان، أما إذا زادت النسبة كثيرا عن هذا الحد، فإن عاج الأسنان تتكون عليه بقع قبيحة المنظر.

وفي أغلب أنحاء البلاد، يحوي الماء نسبة من الفلور أقل كثيرا من نسبة الواحد في المليون. ولذلك بدأ عدد من المدن في إضافة كمية من الفلور إلى مياهها تكفي لرفع نسبته إلى المستوى الملائم لصحة الأسنان. ولكن على من يستخدمون هذا الماء أن ينتظروا سنوات حتى يروا انخفاضا واضحا في تجاويف أسنانهم وفي قوائم الحساب التي يدفعونها لأطباء الأسنان، ذلك لأن الفلور لا يعالج التسوس بل هو يقي منه، ولكي يحصل المرء على أكبر فائدة منه يتعين عليه أن يبدأ في استخدامه من الصغر ويستمر على ذلك.

وفي بعض المدن قوبلت إضافة الفلور إلى الماء بمعارضة شديدة، ومن أسباب هذه الاعتراضات أن بعض الناس يشربون كمية من الماء أكبر كثيرا من الكمية المتوسطة؛ فمرضى السكر وكثير غيره من الأمراض، وكذلك من يعملون في أماكن شديدة السخونة، مثل مصانع الفولاذ، يشربون كميات زائدة من الماء. ومن المعروف أن كليتي الشخص البالغ تستطيعان التخلص من خمسة ملليجرامات من الفلور يوميا. فإذا كان الماء يحوي جزءا من الفلور في كل مليون جزء منه، فإن الشخص الذي يشرب

جالونين ونصف جالون من الماء يوميا يحصل على عشرة ملليجرامات من الفلور، والواقع أن هناك من الناس من يشربون هذه الكمية، وليس من المعروف حتى الآن تأثير الفلور الزائد في هذه الحالة، فإذا اتضح أن له تأثيرا، فسوف تكون له أضرار أخرى إلى جانب تبقع الأسنان بلون داكن.

وبدلا من معالجة ماء المدن بالفلور، اقترح إضافة الفلوريدات الذائبة إلى ملح الطعام. وبهذه الطريقة يستطيع من يريد استخدام الفلور اختيار الكمية المناسبة، كما يمكن توفيره في المناطق الريفية التي لا تزود بالمياه المحتوية على الفلور. على أن الاعتراض الموجه إلى استخدام الملح المضاف إليه الفلور هو أن كثيرا من الناس، الذين لا يعرفون كمية الفلور التي يحويها موردهم المائي الخاص، سيحصلون منه دون شك على كميات أزيد أو أقل من اللازم، وعلى أية حال، فالموضوع كله جديد، ولا يزال في مرحلة الدراسة والتقييم.

وقد يكون الماء خاليا من جراثيم الأمراض وكل أثر للرائحة والطعم الكريه، ولكنه يظل يحمل مع ذلك مواد معدنية تقلل إلى حد كبير فائدته في كثير من الأغراض، وخاصة في الغسيل وتغذية المراجل. لذلك كان لا بد من عمل شيء بالنسبة إلى أنواع المياه العسرة حتى يمكن الحصول على نتائج طيبة في أعمال الغسيل. ويمكن قياس عسر الماء بوزن الأملاح المعدنية المسببة له مقدرا بالقمحات[١٢١] في كل جالون منه. وتؤدي كل قمحة من هذا العسر إلى خسارة بعض الصابون، وقد قدرت صناعة غسل

([١٢١]) القمحة grain هي وحدة الوزن في النظام الإنجليزي، وتساوي جزءا من ١٥.٤٣٢ جزء من الجرام.

الملابس أنه لا بد من استخدام مقدار زائد من الصابون يقدر بـ ١.٧ رطلا في كل ألف جالون من الماء بالنسبة إلى كل قمحة من العسر. وتستخدم محال الغسيل عدة آلاف من جالونات الماء يوميا. وهكذا يعني عسر الماء بالنسبة إليهم، وكذلك بالنسبة إلى مستهلكي الماء في المنازل، إنفاق مزيد من النقود على الصابون، ومزيد من الوقت في الغسيل، مع نتائج أقل من المنتظر.

وعسر الماء نوعان: العسر الدائم، ويرجع إلى كبريتات الكلسيوم وأملاح أخرى ذائبة للكلسيوم والمغنسيوم تبقى في المحلول بفعل قدرة الماء ذاته على الإذابة. وهذا الماء لا يمكن إزالة عسره بصفة دائمة بالغليان تحت الضغط العادي. والعسر الدائم لا يخلف رواسب في الغلايات، ولكنه يسبب متاعب جمة عندما يريد المرء الحصول على رغوة وفيرة من الصابون وغسل الأشياء غسلا نظيفا.

أما العسر المؤقت فيرجع إلى بيكربونات الكلسيوم والمغنسيوم، التي تظل معلقة في الماء في الحالة الغروية، أو تذوب فيه بفعل ثاني أكسيد الكربون الموجود فيه. ويؤدي إلى هذا الماء إلى تصاعد ثاني أكسيد الكربون وتحرير مائتين وخمسين جزءا من كربونات الكلسيوم الموجودة في الماء، وبالواقع أن إدراج الماء في فئة الماء العسر أو الماء اليسر مسألة رأي شخصي إلى حد بعيد. فالمنسوب القياسي الذي وضعه "ليدز" للأنهار الأمريكية يصف المياه المحتوية على أقل من خمسين جزءا من المواد المعدنية

التي تسبب العسر في كل مليون جزء بالمياه "اليسرة"، والتي تحتوي على أكثر من مائة وخمسين جزءا بالمياه "العسرة".

ويمكن التغلب على عسر الماء الدائم بإحداث تفاعل كيميائي في الماء يستبدل في الصوديوم بالكلسيوم والمغنسيوم. وكثيرا ما يجري هذا التفاعل في أجهزة "تيسير" الماء، وذلك بإمرار الماء العسر خلال طبقة من "الزيوليت" zeolite وهو ملح معدني طبيعي يحوي الصوديوم. فعندما يلامس الماء هذا الملح المعدني، يحدث تبادل: يحل فيه الكلسيوم والمغنسيوم الموجود في الماء محل الصوديوم الموجود في الزيوليت. وأملاح الصوديوم في الماء لا تكون رواسب في الغلايات، كما أن المياه المذابة فيها هذه الأملاح أفضل كثيرا في الغسيل من المياه التي كانت تحوي الكلسيوم والمغنسيوم.

ومن الواضح أن تزويد إحدى المدن بمورد مائي تتوافر فيه الشروط المطلوبة يتضمن أعمالا كثيرة.

فأولا: يتعين العثور على مصدر مناسب للتزويد، والحصول على حق استغلاله. وقد يتطلب هذا الأمر القيام فورا بشراء مناطق كبيرة من الأراضي التي يغذيها هذا المورد، وتوفير المال اللازم للخزانات التي يتعين بناؤها. وبعد ذلك، لا بد من توصيل الماء للمدينة. وكثيرا ما يتطلب هذا الأمر شق قنوات، ومجار مائية، وخطوط أنابيب، وأنفاق طويلة.

وتتلقى لوس أنجيليس وغيرها من المدن الواقعة في كاليفورنيا الجنوبية الماء من نهر الكولورادو عبر خط مياه كولورادو الذي يتألف من قنوات وأنفاق طولها ٤٥٧ ميلا. وفي أستراليا، مد خط للأنابيب طوله ٣٥٠ ميلا لإمداد حقول الذهب بـ "كولجاردي" collgerdie في الصحراء الغربية بالماء.

وينبغي أن يكون في المدينة، أو بالقرب منها، مرافق كافية للترشيح، والتنقية، والتخزين. ومن هذه المرافق تتشعب الشبكات الهائلة من الأنابيب الرئيسية والفرعية الضرورية لتوصيل الماء إلى كل بيت ومبنى، ومصنع عند ضغط مناسب ولكن ليس عاليا أكثر من اللازم. ولا يقتصر توفير الماء على الحاجات العادية للسكان والصناعات فحسب، بل ينبغي أيضا عمل حساب لكميات الماء الهائلة التي تتطلبها الحرائق المفاجئة. والواقع أن المورد المائي الكافي المتيسر هو أفضل وقاية وضمان ضد تهديد الحريق القائم دائما.

كم من الماء تحتاجه مدينة ما؟ الإجابة على هذا السؤال تتوقف على تعريفنا لكلمة "الحاجة". ففي بعض أجزاء العراق تبلغ الكمية التي يزود بها الفرد يوميا ثلاثة جالونات، ويواصل الناس حياتهم على هذا المعدل. وهناك أماكن يشرب فيها هؤلاء الناس يوميا ويمتنعون عن الشرب يوما آخر، ولا يغتسلون على الإطلاق، وفي البحرين الواقعة في الخليج العربي، تجلب جميع المياه بالسفن، ويبلغ نصيب الفرد منها قدرا يرثى له. أما في إنجلترا فيعد النصيب الضروري للفرد أربعين جالونا يوميا. وفي القارة

الأوروبية، يقل متوسط نصيب الفرد عن ذلك بكثير. وفي كثير من الأماكن بها لا يتوافر الماء إلا في ساعات معينة أثناء اليوم.

أما الولايات المتحدة فتستخدم وتضيع كمية من الماء أكبر من أي جزء آخر من العالم. وفي المدن يمكن القول أن المتوسط العادي للشخص هو مائة جالون يوميا، ولكن شيكاجو استخدمت ٢٩٠ جالونا في عام ١٩٤٠. وهذا المعدل العالي في الاستخدام يعني، بالطبع، كثيرا من الإهمال، أو الإسراف المتعمد. وأفضل علاج لذلك هو عداد المياه، الذي يجعل كل عائلة ومكان للعمل يدفع ثمن ما يستهلكه. وقد أثبتت البيانات التي جمعت في إنجلترا من ١٣٦ مدينة يزيد عدد سكان كل منها على ٢٥ ألف نسمة أن متوسط الاستهلاك الفردي في الأماكن التي تقل فيها نسبة المستخدمين للعدادات عن ١٠ % بلغ ١٢٨ جالونا في اليوم، على حين أنه بلغ ٥٢ جالونا في اليوم في الأماكن التي ارتفعت فيها هذه النسبة إلى ٥٠ % أو أكثر. وقد أدى انتشار وسائل تكييف الهواء في الآونة الأخيرة إلى تزايد الحاجة إلى الماء بدرجة كبيرة، وإلى إلقاء عبء جسم على المرافق والموارد المائية لكثير من المدن. ولا يزال معدل الاستهلاك الفردي وكذلك عدد السكان في مدننا في ازدياد، ويكافح مهندسو المياه ضد كثير من الصعاب لتوفير حاجة هؤلاء السكان. ومنذ وقت ليس ببعيد، نشأ في أكبر مدننا موقف خطير للغاية، كاد أن يكون ميئوسا منه، فعلى الرغم من أن المصدر الذي تستقي منه مدينة نيويورك ماءها يتلقى كمية وافرة من المطر سنويا، كما أن به خزانات هائلة، فإن الماء في هذه الخزانات انخفض في عام ١٩٥٠ بشكل ينذر بالخطر، واضطر عمدة المدينة إلى تأجير أحد

الخبراء للتحايل على إنزال مزيد من المطر من السحب. والواقع أن مورد الماء في كثير من المراكز الأخرى الآهلة بالسكان لا يزيد عن الحاجة إلا قليلا، على حين أن هذه الحاجة آخذة في اللحاق به.

ومع ازدياد حاجة المدن إلى الماء، تناقصت كمية الماء الذي يمكن أن تزود به هذه المدن، وكذلك هبط مستوى نوعه. كما أخذت تتزايد باطراد صعوبة عملية إيجاد الماء المنقى بالترشيح خلال التربة النظيفة، أو حتى إيجاد الماء الجاري من المناطق التي تتجمع فيها الأمطار غير الملوثة، واضطر المهندسون، لمجابهة الحاجة المتزايدة باستمرار، إلى البحث عن الماء في أماكن يصعب الوصول إليها. وفي بعض أنحاء البلاد، يوجد تنافس حاد بين حاجات المدن، والصناعة والري. فهي تحتاج جميعا إلى ماء نقي وبكميات وفيرة.

وفي عام ١٩٠٠ كانت مساحة الأراضي الزراعية المروية في الولايات المتحدة ثمانية ملايين فدانا، وفي عام ١٩٤٨ زادت هذه المساحة إلى ثلاثة وعشرين مليون فدانا، مع التصريح لهيئة استصلاح الأراضي باستصلاح سبعة ملايين فدانا أخرى في سبعة عشرة ولاية من الولايات الغربية. وفي كاليفورنيا الجنوبية، بلغ استهلاك الماء في جميع الأغراض حدا لم يتوقع المهندسون قبل الحرب حدوثه قبل عام ٢٠٠٠.

وقد لا تمضي فترة طويلة حتى يصبح من الضروري تحديد كمية المياه التي توزع على المدن، والمصانع، والزراعة في كثير من المناطق الجافة التي لا

يتوافر فيها الماء لمجابهة جميع الأغراض، فلا شك أن اتخاذ قرارات تنطوي على حرمان جهة ما من الماء اللازم للتوسع والنمو سيكون أمرا صعبا وخيم العاقبة.

وفي كثير من الأماكن أصبح لا يوحد بالفعل ما يكفي من الماء لجميع الحاجات، وأخذت المشكلة تقترب من الأزمة، ويقول رئيس غرفة الصناعات المتحدة في جنوب إفريقيا أن نزاعا مريرا سينشب طوال عدة سنوات بين الحاجة المائية للمدن الآخذة في النمو وبين طلبات مشروعات الري التي تسعى إلى الحصول على الماء لتدعيم الزراعة، وهكذا يبدو الأمر في هذه الحالة اختيارا بين الطعام والشراب.

وتنشأ في أمريكا، في كاليفورنيا الجنوبية، مشكلة مشابهة إلى حد ما، فمياه نهر الكولورادو تستخدم في ري ما يزيد على ٩.٥٠٠.٠٠٠ فدان من الأراضي في كل من كاليفورنيا الجنوبية وأريزونا، حيث لا يمكن زراعة إلا قليل من المحاصيل دون ري. وقد أدى الإفراط في استخدام المضخات إلى انخفاض مستوى الماء الأرضي في أجزاء من كلتا الولايتين، كما أن الحاجة إلى ماء النهر تزداد بسرعة. والواقع أن مياه نهر الكولورادو موزعة كلها بين الولايات التي يمر بها وبين المكسيك. صحيح أن مياهه كلها لم تستخدم بعد، ولكن لن يمضي وقت طويل حتى يصبح محصول النهر كله أقل من أن يفي بحاجة الأرض العطشى. وتحاول ولاية أريزونا بالفعل أن تزيد حصتها من مياه النهر، على حين تكافح ولاية كاليفورنيا ضد ما تصفه بغارة أريزونا على موردها المائي المستقبل.

ومن المعروف أن جميع المياه الموجودة في اليابسة قد تقطرت من المحيطات بفعل حرارة الشمس. وقد دفعت هذه الحقيقة كثيرا من الناس إلى التساؤل: لماذا لا نقيم مشروعات للتقطير في المدن المطلة على البحر فنضمن بذلك موردا نقيا غير محدود يصل إلى منازلنا مباشرة. والجواب على هذا السؤال مقتضب ومؤسف، ويتلخص في أن المشروع يتكلف أكثر من اللازم. كذلك يمكن جعل ماء البحر صالحا للشرب بالمعالجة الكيميائية التي ترسب الأملاح، ولكن هذه الطريقة أبهظ نفقات حتى من طريقة التقطير. أما أفضل طريقة يرجى منها لإنتاج كميات ضخمة من الماء العذب من ماء البحر فهي طريقة التقطير تحت الضغط، وهي طريقة لا تستخدم فيها الحرارة المباشرة إلا لبدء العملية، التي تجرى بعد ذلك بواسطة جهاز للضغط يعمل بالطاقة، وتستطيع إنتاج مائتي رطل من الماء لكل رطل من الوقود يستهلك في توليد هذه الطاقة، ولا شك أن عملية التقطير تحت الضغط ستكون مفيدة واقتصادية في الجزر الجافة، على أن تكاليف الأجهزة والمعدات اللازمة لإمداد المدن الكبيرة قد تقف عقبة في سبيل تنفيذ هذا المشروع.

ولكن يبدو أن الأمل ضعيف في أن تحل هذه الطريقة، أو أية طريقة أخرى تستخدم التقطير، أو الكيماويات، أو أية عمليات أخرى معروفة محل العمل الذي يقوم به الآن جهازنا الطبيعي لتوليد الطاقة الذرية، ألا وهو الشمس. وهكذا يتضح أن صيانة المورد الطبيعي الذي يأتينا من الأمطار هو إحدى المشكلات الحيوية الملحة التي تواجه الحضارة الحديثة.

الفصل السادس

معلومات متفرقة : عبادة الماء والآبار وبرك الندى والتنقيب عن الماء

لقد ارتبط الماء، منذ عصور ما قبل التاريخ حتى الآن، بالشعائر الدينية، وأساطير الآلهة والأبطال، والحوادث الخارقة، وكان الإغريق القدماء، الذين نسبوا كل شيء طبيعي لإله، أو حورية على الأقل، مسرفين بصفة خاصة في آلهتهم المائية، وسار الرومان على منوالهم. فقد نصبوا على كل كتلة مائية ملاكها الحارس، ابتداء من المحيطات والبحار، الخاضعة "لبوزيدون" Poseidon الإغريقي أو "نبتون" الروماني، أو الأمطار التي يسقطها "زيوس" أو "جوبيتر بلوفيوس" (أي جوبيتر الممطر)، حتى أصغر ينبوع أو مجرى.

وكانت عبادة الإله "أسكولابيوس" Aesculapius، إله الشفاء، مرتبطة بالآبار والينابيع. وكان الرومان يحتفلون بعيد "فونتيناليا" تمجيدا لحوريات الآبار والنافورات في "عيدس"[١٢٢] ides أكتوبر. كذلك خلفت الأساطير الإسكندينافية والجرمانية كثيرا من جنيات الماء. ويقول القرآن {وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ}. ويوجد في مكة الينبوع المقدس الذي تفجر من الأرض الرملية لينقذ حياة إسماعيل. وقد انشقت مياه البحر الأحمر

([١٢٢]) يوم معين عند الرومان في بعض الأشهر هو الخامس عشر من مارس ومايو ويوليه وأكتوبر، والثالث عشر من بقية الشهور.

استجابة لصلوات موسى، وتدفق الماء من الصخرة الصحراوية، وفي الصين يزور موكب من الناس أحد الينابيع في عيد منتصف الخريف، ويركعون حوله في دائرة شاكرين الماء على إحيائه لمحصولهم.

وقد أدت قدرة الماء على تنظيف الأجسام البشرية والأشياء المادية، منذ أقدم العصور، إلى جعله رمزا عاما ووسيلة شائعة للتطهير، وللطقوس الدينية الخاصة بغسل الذنوب، وكان اليهود يعمدون المنضمين إلى دينهم قبل ظهور المسيحية بوقت طويل. كما اتبعت كثير من الديانات الأخرى طقوسا مشابهة. ويخبرنا "تيرتوليان" tertullian، وهو واحد من آباء المسيحية القدامى، إن أتباع "إيزيس" و"متراس" كانوا يبدءون الانضمام إلى عقيدتهم بالتعميد من ينبوع، وأن الناس في عبادات "أبولو" و"اليوزيس" الخاصة، كانوا يعمدون "وهم يفكرون في الخلاص والتحرر من وزر الحنث في إيمانهم". ويقول أيضا: "كان أي شخص من القدماء يلطخ يديه بالقتل يذهب للبحث عن الماء الذي يمكن أن يطهره من ذنبه".

وقد كان الناس يحبون دائما أن يروا حركة الماء ويلهون به، وهذا ما يتضح مما يمكن أن نطلق عليه اسم "عبادة الينابيع". ومن الأمثلة القديمة جدا التي تشهد على ذلك، حوض بابلي منحوت يرجع إلى عام ٣٠٠٠ ق.م. عثر عليه في مدينة "لاجاش" القديمة. وكان الإغريق والرومان مغرمين إلى أبعد حد بالنافورات، وزينوها بالزخارف الحجرية والتماثيل المتقنة. وكان يفترض أن الماء النابع من كثير من الينابيع، والعيون، والبرك القديمة، مثل بركة "سيلوم" بالقرب من بيت المقدس، له

تأثير خاص في شفاء كثير من الأمراض. وكان هذا الاعتقاد واسع الانتشار كما أثبت مقدرة عجيبة على البقاء، بل لا يزال له أنصار ومؤيدون حتى اليوم.

وقد كانت أسطورة نافورة إعادة الشباب من القوة في القرن السادس عشر بحيث أنها أغرت "بونسي دي ليون"[١٢٣] ponce de leon على استكشاف فلوريدا. وما زالت هذه الأسطورة قوية حتى اليوم، إذ تجذب إليها الألوف في كل عام ممن يلتمسون الصحة ويسعون إلى استعادة الحيوية في الينابيع الحارة، والمياه المعدنية، والعيون. وربما كان العامل الذي يساعد الكثيرين منهم أكثر من الحرارة، أو الكبريت الموجود في الماء، هو اعتقاد فطري راسخ متغلغل في أذهانهم دون أن يشعروا به.

وينساب نهر الأردن من بحر "الجليل" حتى البحر الميت مسافة طولها سبعون ميلا، ولكن مجراه المتعرج يزيد هذه المسافة إلى حوالي المائتي ميل. وهو نهر صغير جدا، ولكنه النهر الوحيد في فلسطين الذي يستطيع هذا الاسم. وقد نظر المسيحيون المخلصون إلى ماء هذا النهر، طوال قرون عديدة، على أنه يتميز بقدرة خاصة على الشفاء والتطهير، وذلك لأنه كان في الأراضي المقدسة، ولأنه ذكر كثيرا في الإنجيل، وخاصة لأن المسيح عمد فيه، وقد ظل الحجاج يحملون مياه الأردن في الزجاجات والقوارير إلى جميع أرجاء العالم.

---

(١٢٣) مستكشف إسباني (١٤٦٠ – ١٥٢١).

ونهر "الكنج" هو أقدس الأنهار بالنسبة إلى الهنود، وفي كل عام يذهب آلاف الحجاج منهم إلى "الله أباد" و"بيناريس" لإزالة خطاياهم بالاستحمام في مياهه المقدسة.

وقد جعلت الديانة المسيحية، منذ البداية، الماء واحدا من الطقوس الأساسية في أسرارها المقدسة. ومع انتشار المسيحية في أوروبا، اختفت الآلهة، والآلهات، وأنصاف الآلهة الوثنية أو تحولت من آلهة إلى أساطير. على أن كثيرا من الأرواح المائية الأقل شأنا، والعادات المرتبطة بها، استمرت فترة طويلة. كما أن بعض الحوريات وجنيات الماء قد تحولت إلى الديانة المسيحية، واستمرت تؤدي عملها بوصفها راعية للينابيع والآثار الخاصة بها، ولكن مع تحويل أسمائها إلى أسماء قديسين.

وفي إسكندیناوه، كان المبشرون الرهبان يشملون برعايتهم بعض الينابيع الخرافية، التي كان يغسل فيها الضحايا قبل التضحية بهم على مذبح أحد الآلهة الوثنيين،كما كانت هذه الينابيع توضع في حماية مختلف القديسين. وهكذا بورك بئر "ثور" thor وأصبح في رعاية القديسة "هيلينا"، واستحوذ القديس "بريدجيت" على ينبوع كان ينتمي إلى إله صغير في عقيدة "درويد"[١٢٤] druid. بل لقد وجد الأسقف "أنسيلم" anselm حتى بعد الغزو النورماندي لإنجلترا، أن من الضروري إصدار قانون يمنع عبادة الينابيع.

([١٢٤]) نسبة إلى كاهن وثني عند قدامى الإنجليز.

وهناك خرافة من أكثر الخرافات المتعلقة بالماء انتشارا وأكثرها تأصلا، ما زالت باقية في صورة "بئر الأماني"؛ ففي أيام الوثنية، عندما كان النهر مملوكا لحورية أو لجنية، كانت الهدايا تقذف في داخله أو توضع بالقرب منه. وكان مقدم الهدية يصلي لجنية الماء من أجل قضاء خدمة أو مساعدة في مقابل هديته. ومع تناقص الإيمان بالآلهة القديمة أصبحت الهدية منحة رمزية: مليما أو دبوسا، وتحولت الصلاة إلى أمنية.

وما دمنا في هذا الموضوع، فلعل من المناسب أيضا أن نذكر شيئا عن الآبار التي تفيد على الرغم من أنها لم تعد مقدسة، والواقع أن الآبار أسطوانات تفجر الينابيع تحت الأرضية عن طريق ثقب الطبقات المنفذة الحاملة للماء، ويتراوح عمق البئر المائي بين بضع بوصات وستة آلاف قدم، وهو أقصى عمق حالي، أما آبار النفط فقد نقب عنها إلى عمق يزيد على ثلاثة أميال.

وتتفاوت قوة تتدفق الآبار بقدر ما يتفاوت عمقها، فكلما اتسعت الثقوب أو المسافات الموجودة في طبقات الأرض، ازدادت سرعة تدفق الماء في البئر، وعندما تكون كمية الماء في الطبقة الحاملة للماء (وتسمى aquifer) كبيرة ومنبعها وفيرا، وكذلك عندما تكون الظروف مواتية للتدفق، يمكن الحصول من البئر على كمية وفيرة من الماء. وأفضل الطبقات الحاملة للماء هي المكونة من الحصى. وقد ينتج البئر الذي يبلغ قطره قدما ويقع في أرض من الحصى الجيد ألف جالونا في الدقيقة، وكانت بروكلين، بنيويورك، تستخرج فيما مضى مائة مليون جالونا من الماء يوميا

بواسطة المضخات من منطقة تبلغ مساحتها ١٦٠ ميلا مربعا. وقد روي عن آبار أنها تنتج ٣٠٠٠ جالونا في الدقيقة.

ولكي يكون البئر صالحا بالمعنى الحديث، ينبغي أن يهيئ موردا كافيا من الماء اليسر غير الملوث أو الكريه الطعم أو الرائحة، كما ينبغي ألا يتوقف عن الإنتاج في الطقس الجاف. والماء المستخرج من الآبار العميقة يكون نظيفا وخاليا من الجراثيم عادة، ولكنه كثيرا ما يكون عسرا أو مختلطا بمركبات الحديد أو الكبريت التي تكسبه طعما منفرا. أما الآبار الضحلة، وخاصة ما يوجد منها في القرى، فكثيرا ما تكون ملوثة بمحتويات المصارف والمجاري، أو تكون مياهها محتوية على كائنات حيوانية أو نباتية مجهرية:

فإذا ما هربت من صنائع الإنسان الفاسدة

وشربت ماء نقيا من طلمبة الماء،

فإني أتجرع النقعيات[١٢٥]،

وقسطا وافيا من البكتيريا الخام،

والدوارات[١٢٦] الكريهة،

([١٢٥]) النقعيات أو النقاعيات infusoria اسم كان يطلق على الكائنات العضوية المجهرية التي توجد في نقاعات المواد العضوية، ولكنه يستخدم الآن بطريقة أدق للدلالة على الحيوانات الهدبية cilioph ora وهي مجموعة من الأوالي (البروتوزوا) تتميز بوجود أهداب بها في مرحلة أو أخرى من مراحل تطورها.

والبرقات المتلوية،

والدياتومات اللزجة،

ومختلف الحيوانات الدقيقة

من الدرجة السفلى، والمتوسطة، والعالية.

ويليام جونيبر

وفي أغلب الآبار، لا بد من جلب الماء إلى السطح بواسطة الدلاء أو المضخات، ولكن الآبار الارتوازية تتدفق باستمرار لأن الضغط الواقع على الطبقات الحاملة للماء يكفي لرفع الماء فوق مستوى سطح الأرض. وقد استمدت هذه الآبار اسمها من منطقة "أرتوا" artois الفرنسية، التي يفترض أن أول بئر متدفق استمد منها في عام ١١٢٦. والماء الجوفي المتسرب والمفقود من الآبار الارتوازية يبلغ مقدارا هائلا، وكثيرا ما تبلغ نسبة الماء الذي ينتفع به منها أقل من ١% من الماء الذي تنتجه.

ولكن، أين يمكن الحفر أو التنقيب للحصول على بئر جيد؟ سؤال ظل ملازما لنا منذ أقدم العصور. وهناك طريقتان لحل هذه المشكلة: الأولى، وهي التي أوصي بها بشدة، هي استشارة مهندس في

---

(١٢٦) الدوارات rotatoria أو العجليات wheel animalicules فصيلة من الحيوانات الدقيقة العديدة الخلايا، تتميز بأن المنطقة الأمامية من الفم تكون على هيئة قرص به حلقتان من الأهداب (يعرف بالعجلة). كانت تدرج خطأ ضمن الأوليات الهدبية النقاعية الكبرى الكثيفة السكان. إذ يتلقى في منبعه كميات هائلة من النفاية الناتجة

الشئون المائية أو جيولوجي. ويمكن لهذين الخبيرين أن يسديا نصيحة يمكن الوثوق بها، وذلك استنادا على معلوماتهما عن الطبقات الأرضية التي يراد الحفر فيها، وبناء على كثير من سجلات الحفر التي يمكن الحصول عليها عادة. أما الطريقة الثانية، التي تروق لأولئك الذين يعتقدون في قوة الإدراك الخارجة على الحواس، فهي استخدام أحد المنقبين عن الماء (القناقن dowser).

والمنقب عن الماء، شخص يؤكد أنه يمكنه تحديد موقع الماء الجوفي، ومعرفة المكان الذي ينبغي حفر البئر فيه، دون الاستعانة بالمعلومات الجيولوجية أو السجلات، ويطلق عليه أيضا اسم "المتكهن". والطريقة المعتادة هي أن يمشي المنقب عن الماء فوق الأرض ممسكا بعصا متشعبة مقطوعة من شجيرة أو من فرع شجرة نامية، وشجرة البندق هي أفضل الأشجار من الناحية التقليدية، ولكن يمكن استخدام كثير غيرها من الأشجار، وعندما يصل "المنقب" إلى قناة مائية تجري تحت الأرض، يفترض أن تنقلب العصا أو تنثني، واقتفاء أثر الماء مهنة مارسها الناس طوال مئات من السنين، ويؤمن بها الكثيرون إيمانا راسخا، على أن الدلائل تشير إلى أن مزاعمها غير صحيحة.

ذلك لأن العصا التي تنثني عندما تكون فوق قناة مائية صغيرة على بعد خمسين قدما من سطح الأرض، مثلا، حري بها أن تنكسر عندما يمسك بها بالقرب من سطح أحد المجاري المائية، ولكن يبدو أنها تتجاهل هذا الأمر الواضح. ويمكن تفسير النجاح الذي يحرزه المنقبون عن الماء في

كثير من الأحيان بأن الماء الجوفي يقع، لا في مجار مائية أو في برك صغيرة، بل في أحزمة عريضة من الطبقات الأرضية التي لا يمكن أن يخطئها بئر يحفر في أي مكان فوق منطقة ضخمة، وفي هذه البلاد يمكن لأي شخص منا أن يكون منقبا عن الماء، وأن يحرز في هذه المهنة نجاحا يكاد يكون تماما.

وقد أغري جدي ذات مرة على استخدام أحد المتكهنين بالماء كي يرشده إلى المكان الذي يحفر فيه بئرا. وقال المتكهن أن المكان الوحيد الذي يمكن أن يعثر فيه على الماء بالقرب من المنزل يقع في الناحية الجنوبية، على أن جدي كان يريد البئر من الناحية الشمالية، وهناك قام بالحفر، وحصل على بئر غزير المياه، على الرغم من إصرار المتكهن بأنه لن يحصل في تلك الناحية إلا على حفرة جافة.

وقد أجري في إنجلترا اختبار علمي لمعرفة قدرة عدد من منقبي الماء المشهورين؛ فتجمعوا في منطقة ليس لديهم معرفة بها، وفي هذه المنطقة كان قد حفر عدد الآبار، عثر في بعضها على ماء، والبعض الآخر كان جافا. وسار المنقبون عن الماء فوق نفس المنطقة، كل منهم على حدة، ولم يسمح لهم بالاتصال ببعضهم البعض. ولم تسفر كشوفهم عن اتفاق، كما لم تسفر عن اتفاق على المواقع الفعلية للطبقات الحاملة للماء أكثر مما كان يمكن أن يسفر عنه التنبؤ العشوي الصرف.

وفي إحدى المناطق الأسترالية التي كان يصعب فيها العثور على الماء، أثبت تحليل النتائج المستخلصة من حفر الآبار في المواقع التي

حددها المنقبون عن الماء، بالمقارنة بمواقع أخرى اختيرت دون مشورتهم، أثبت الحصول على نسبة أعلى من الآبار الناجحة في الأماكن التي لم يستشر فيها هؤلاء المنقبون. ومع ذلك فإن الخرافة تموت بصعوبة، والأرجح أن يواصل هؤلاء المنقبون التنبوء بالماء والعثور عليه في الأماكن التي لا يمكن الخطأ فيها لسنوات عدة مقبلة.

ويمكن النظر إلى المنقب عن الماء بوصفه سليلا، أو قريبا بعيدا على الأقل، لصانع المطر، إذ نكاد نجد لجميع الشعوب البدائية التي كانت تعيش في مناطق يسودها المناخ الجاف آلهة للمطر. وكانت هذه الشعوب تصلي لهذه الآلهة وتقدم إليها القرابين لإغرائها على إنزال المطر الواهب للحياة من أجل ري محاصيلهم وتوفير الكلأ لماشيتهم. وأصبح الكهنة أو الأطباء، ببركة الله، هم القادرون على إنزال المطر. فكانوا يترأسون الاحتفالات ويأمرون بالقرابين المناسبة. فإذا انهمر الماء بغزارة، كان ذلك غاية المرام. أما إذا كان هناك جفاف فيعللون ذلك بأن الإله غائب في رحلة، أو أنه غاضب على القبيلة لأنها لم تقدم له ولكاهنه فروض الولاء اللازم.

وهناك موضوع آخر مناسب يمكن إدراجه تحت عنوان موارد المياه، وهو موضوع أحيط دائما بهالة من الغموض وجو من التناقض، وذلك هو برك الندى.

وعندما قرأت لأول مرة الأبيات التالية في قصيدة "كبلنج" المسماة "سيسكس" Sussex:

ليست لدينا مياه مبعث البهجة

في وديانتا الواسعة، الخالية من الجداول

وكل ما لدينا بركة ندى في الربوة،

لا يمدها بالماء شيء، ولكن معينها لا ينضب.

لم أعرف ماذا عسى أن تكون بركة الندى، فثارت غريزة حب الاستطلاع عندي، حتى عرفت الآن ما هي، ولكني توصلت إلى نتيجة هي أن قليلا من الناس هم الذين يعلمون عن يقين كيف تتكون هذه البرك ولماذا تتكون، كما أنهم لا يتفقون في هذا على رأي واحد.

ويبدو أن برك الندى ظاهرة يختص بها الإنجليز منذ أقدم العهود، إذ أننا لا نسمع عنها في البلدان الأخرى. وهي تتكون فوق قمم التلال. وربما كان هذا هو السبب فيما تقوله الأغنية المشهورة من أن "جاك وجيل صعدا فوق ا لتل لإحضار دلو من الماء". وتوجد برك الندى عادة بالقرب من البحر في الأراضي التي توجد تحتها تكوينات طباشيرية، وليست لها علاقة بالينابيع أو أي مصدر آخر من مصادر المياه الأرضية. وهي صغيرة يتراوح قطرها بين ثلاثين وخمسين قدما، وليس لها مداخل أو مخارج.

والشيء الغامض في برك الندى هو معرفة المصدر الذي يأتي منه ماؤها، ويمكن القول استنادا إلى كثير من التقارير، أنها لا تفيض بالماء أبدا ولا تجف، بل إنها لا تنضب قط، حتى في أوقات الجفاف الشديد، حين يفقد كثير من الماء بالبخر والاستعمال، وحين تجف البرك المنخفضة التي تغذيها الينابيع. فالماء الذي تفقده بالنهار يعوض بالليل.

ولكي تصنع بركة للندى، احفر حفرة كروية قليلة الغور في طبقة الطباشير، ثم غط سطحها بالقش أو البوص، وأخيرا غط هذا القش أو البوص بطبقة من الوحل، وعليك بعد ذلك أن تضع بعض الماء في الحفرة حتى تبدأ عملها، أو أن تنتظر المطر التالي. وهكذا تحصل على بركة للندى إذا ما سار كل شيء على ما يرام.

ولا يبدو هناك شك في أن برك الندى تسلك بالفعل على النحو الذي أشرت إليه. وقد قام كثير من المهتمين بهذه البرك والذين لديهم خبرة عنها بملاحظتها، وبحثها، وكتابة التقارير عنها. ويخبرنا أحد الكتاب المهتمين بهذا الموضوع عن "بركة خاصة، تعلو عن منزلي بثلاثمائة قدم، ولم ينضب ماؤها على الإطلاق، على الرغم من أن عمقها في المنتصف لم يتجاوز قط ثلاثة أقدام وقطرها ثلاثين قدما، على الرغم من أنها توفر الشرب لعدد من الأغنام يتراوح بين ثلاثمائة وأربعمائة، فضلا عن عشرين رأسا من الماشية على الأقل".

ومن الصعب أن يكون الندى العادي هو المصدر المائي الذي يغذي برك الندى، إذ أن أقصى قدر مسجل لسقوط الندى في إنجلترا يبلغ ١.٥ بوصة سنويا، وهو قدر غير كاف على الإطلاق لإمداد هذه البرك التي لا تنضب أبدا. ويبدو أن أصوب التفسيرات هو أنها تتغذى بواسطة الماء المتكاثف من الضباب والسحب المنخفضة. والمفروض أن القش يعزل سطح الأرض من حول البركة والماء عن الحرارة المتصاعدة من أسفل، وبذلك يبرد هذا السطح بسرعة في الليل عن طريق الإشعاع، ويعجل بتكاثف الضباب أو السحب الملامسة له. على أن هذه النظرية تصادف بعض الصعاب، بحيث تظل برك الندى لغزا لا يحل.

الفصل السابع

القنوات

إن القناة، كما نعرفها الآن، هي ممر مائي يشقه الإنسان من أجل الملاحة، أو الري، أو الصرف، أما أول قناة فقد شقها حيوان ذكي من نوع القندس لأغراض الملاحة، ثم تبعه الإنسان بشق الحفر والمجاري لجلب الماء اللازم للري، ولست أعرف بالضبط متى تحولت الحفرة إلى قناة، ولكن سكان العراق قاموا منذ أكثر من أربعة آلاف سنة بإقامة شبكات هائلة للري بها مجار مائية كبيرة بدرجة يمكن معها أن يطلق عليها اسم القنوات.

والأرجح أن المصريين هم الذين قاموا بحفر أول قناة ملاحية مهمة لنقل سفنهم من النيل إلى البحر الأحمر. ويبدو من المؤكد أن هذه القناة كانت موجودة في عام ١٣٨٠ ق.م، وربما قبل ذلك بكثير. ولا يزال من الممكن رؤية آثار من هذا الممر المائي القديم. وفي عام ٦٠٩ ق.م. بدأ الفرعون "نيخو" في حفر قناة أخرى توصل إلى البحر الأحمر، ولكنه لم يتمها. ويخبرنا هيرودوت أن ١٢٠.٠٠٠ رجلا هلكوا في هذه العملية.

والمعروف أن الرومان كانوا بارعين في شق الطرق البرية، ولكنهم قاموا أيضا بشق القنوات التي أصبحت طرقا مائية، وفي إنجلترا ما زالت

قناة "فوس" foss dyke، وهي قناة حفرت أثناء الاحتلال الروماني، ويبلغ طولها أحد عشر ميلا، أما قناة "كاير" caer dyke وهي قناة رومانية طولها أربعون ميلا، فقد امتلأت عن آخرها بالتراب.

وبعد سقوط روما، تعرضت جميع الأعمال الهندسية لنكسة طويلة الأمد، وتعرضت القنوات ومجاري الماء بدورها لسوء الاستعمال والتلف. وأصبح استخدام الماء لا يتعدى الشرب وتسيير السفن. وفي الصين تمت "القناة الكبرى" في القرن الثالث عشر، وما زالت مستخدمة حتى الآن. وكانت هذه القناة عملا عظيما بحق، أما في أوروبا فلم يكن هناك سلام أو أمان يشجع على تشييد الطرق أو شق القنوات.

وبحلول القرن الرابع عشر، انتعش الاهتمام بالماء في أوروبا الغربية مع صحوة الحضارة من غفوتها الطويلة في العصور المظلمة. والواقع أن دراسة التاريخ تثبت لنا أن كمية الماء التي يستخدمها الشخص في بلد ما أو في عصر ما، إنما هي دليل ومقياس صحيح لتقدم الحضارة في هذا البلد أو ذلك العصر.

ومع تقدم التجارة وانتعاش حركة التبادل التجاري، ازدادت الحاجة كثيرا إلى وسائل أرخص للنقل. وقد بدأ شق القنوات في إيطاليا وهولندا، ولكن فائدة هذه القنوات كانت مقصورة على النقل بين مواقع تقع على نفس المستوى تقريبا. ولم ينجح أحد في حل مشكلة مد القنوات فوق المرتفعات.

ويدعي الإيطاليون والهولنديون أن كلا منهما هو صاحب الحق في اختراع الأهوسة التي ترتفع بالقنوات وما عليها من سفن وتنخفض بها عبر المنحدرات، ولكننا لا نعرف التاريخ الذي أقيم فيه أول هويس، ومن الجائز ألا يستقر الناس على رأي في هذا الموضوع أبدا. على أنه يبدو من المؤكد أن "ليوناردو دافنشي" شيد في عام ١٤٨٧ ستة أهوسة لتوصيل قنوات ميلانو بعضها ببعض.

وقد أدى اختراع الأهوسة إلى زيادة إمكانيات الملاحة الداخلية إلى حد كبير، ولم تعد القناة مقيدة بمستوى سطح الأرض. ولم يكن باستطاعة الإنسان رفع الماء إلى أعلى دون استخدام المضخة التي كانت تعني في تلك الأيام رفع الماء بجهد الإنسان أو الحيوان، ولكنه اهتدى بفضل هذا الاختراع إلى الطريقة التي يمكن بواسطتها جعل الماء يرفع السفن فوق تل دون الاستعانة بأي مصدر للطاقة ما عدا الجاذبية والشمس التي ترفع الماء إلى قمة التل.

وكانت أول قناة أوروبية ضخمة هي قناة "لانجيدوك" Languedoc التي افتتحت في عام ١٦٨١، لتوصيل خليج بسكاي بالبحر المتوسط. ويبلغ طول هذه القناة ١٤٩ ميلا، وهي تصعد من مستوى سطح البحر حتى ارتفاع ٦٢٠ قدما، ثم تنخفض ثانية، مستخدمة ١١٩ هويسا، ويبلغ عمقها ستة أقدام ونصف القدم. ولا يخفى أن مشروعا كهذا تطلب قدرا كبيرا من المعرفة والقدرة الهندسية. وأثبت إتمامه أن فرنسا بلغت درجة من الرقي، وأن الأحوال فيها بلغت درجة من

الاستقرار، تشجع استثمار رءوس أموال ضخمة في مشروع يحتاج فيه تعويض هذه الأموال إلى سنوات عدة.

وعلى الرغم من التقدم الكبير الذي أحرزته القنوات بفضل الأهوسة، فقد سار بناء هذه القنوات سيرا بطيئا، ذلك لأنها كانت أفيد ما تكون في نقل البضائع الثقيلة، ولكن نقل هذه البضائع بكميات كبيرة لم يصبح ميسورا إلا بعد الثورة الصناعية التي بدأت بظهور الآلة البخارية في مطلع القرن الثامن عشر.

وقد شهد النصف الأخير من القرن الثامن عشر والنصف الأول من القرن التاسع عشر تقدما هائلا في تشييد القنوات. وكانت هذه الفترة عصرا ذهبيا بالنسبة إلى القنوات الصغيرة، إذ أخذ الناس يحفرونها في جميع أرجاء أوروبا وفي الأجزاء المستوطنة من أمريكا الشمالية، ففي موازاة كل نهر تقريبا، كانت توجد قناة بها معبر للجر، تسحب فيه القوارب بواسطة خيول أو بغال تمشي الهوينى. وكانت أقصى سرعة لهذه الحيوانات ثلاثة أميال في الساعة، كما كانت مسافة خمسة وعشرين ميلا تعد مسيرة لا بأس بها إذا لم تكن هناك كثير من الأهوسة. على أننا ينبغي أن نعرف أن الطرق الأرضية كانت رديئة بدرجة لا يمكن تصورها، كما أن السكك الحديدية لم تكن قد مدت بعد. وعلى الرغم مما كان عليه النقل بواسطة القنوات من بطء ومشقة، فقد قام بتحريك كميات ضخمة من البضائع وعدد كبير من المسافرين. والواقع أن طريقة النقل هذه كانت مفيدة إلى حد كبير في وقت كانت فيه جميع وسائل المواصلات بطيئة.

وقد تمت أول قناة في أمريكا في عام ١٧٨٣، وكانت تنقل السفن حول شلالات نهر "سانت لورانس" شمال "مونتريال". وفي الولايات المتحدة، حفرت أول قناة في مدينة "سوث هادلي" south Hadley بولاية ماساتشوستس وتمت في عام ١٧٩٦. أما أشهر قناة في الولايات المتحدة فهي قناة "إيري" erie. ففي عام ١٧٨٣، بدأ الحاكم "جورج كلينتون" حملة دعاية لبيان أهمية شق قناة بين نهر الهدسون والبحيرات الكبرى، ولإقناع الناس بإمكان حفر هذه القناة وبأنها ستغطي مصروفاتها.وقد بدئ في شقها في عام ١٨١٧، وتمت في عام ١٨٢٥، وذلك بفضل جهود "دويت كلينتون"، وهو ابن أخ لصاحب المشروع الأصلي، وكان هو الآخر حاكما لنيويورك.

وقبل ذلك بعدة سنوات، قام الجنرال واشنطون بمعاينة طريق قناة إيري" وأبدى موافقته عليه. والواقع أنه كان مهتما أشد الاهتمام بفتح الطرق المؤدية إلى الغرب وتحسينها، إذ أنه تنبأ بالدور الكبير الذي يمكن أن تقوم به الممرات المائية في توسيع رقعة البلاد، وكان يشعر بأن وسائل النقل والمواصلات الرخيصة السهلة كانت ضرورية لربط أجزاء البلاد بعضها ببعض، ولمنع تكوين ولاية منفصلة غربي جبال "الأليجيني" Alleghenies. ولذلك أسس شركة لتحسين الملاحة في نهر "البوتوماك"، مهدت لشق قناتي "تشيزابيك" و"أوهيو".

وتصل قناة "إيري" بين نهر الهدسون بالقرب من ألباني وبحيرة "إيري" عند ميدنة بفالو. وكان عمقها في البداية أربعة أقدام – وهو عمق

يكفي لتعويم سفينة حمولتها ثلاثون طنا – ولكنه ازداد بعد ذلك إلى سبعة أقدام. وقد أدت هذه القناة إلى تخفيض تكاليف نقل جوال الدقيق من بقالة إلى نيويورك من مائة دولار إلى أقل من خمسة دولارات، وكانت استثمارا ناجحا لولاية نيويورك والأقاليم الشمالية الغربية السابقة، إذ أتاحت معبرا زهيد التكاليف يمكن بواسطته نقل منتجات الولايات المطلة على البحر وكذلك الواردات والمهاجرين الأوروبيين إلى الغرب، على حين كانت الحبوب وغيرها من منتجات الغرب ترد عن طريقها إلى أسواق الشرق. وقد أفادت هذه القناة مدينة نيويورك بصفة خاصة، إذ حولت إليها التجارة من فيلادلفيا وغيرها من الموانئ.

وبحلول عام ١٨٨٢، كانت قناة "إيري" قد ربحت مبلغ ٤٢ مليون دولارا فوق تكاليفها الأصلية ومصاريف توسيعها وصيانتها. ومع ظهور السكك الحديدية، قل استخدام القناة بسبب بطء السفن التي كانت تسير فيها. وقد تطورت هذه القناة واتسعت، وأصبحت تعرف بقناة بارج" Barge" التابعة لولاية نيويورك، وبلغ عمقها ١٢ قدما، وعرضها ١٢٥ قدما، فيما عدا الأماكن الصخرية منها التي كان عرضها٩٤ قدما. وامتدت منها فروع إلى بحيرة "تشامبلين" Champlain، وإلى بحيرتين من البحيرات المعروفة باسم "بحيرات الأصابع"[١٢٧] Finger Lakes، وبحيرة "أونتاريو". وعلى صفحتها يمكن لسفن الشحن الكبيرة أن تسير بمحركاتها الخاصة، أو تقطر بواسطة الرفاصات.

([١٢٧]) وهي البحيرات الكبرى التي تفصل بين الولايات المتحدة وكندا، وتشبه الأصابع في شكلها. (المترجم)

وقد استخدمت طرق أخرى لتسيير السفن في القنوات الصغيرة، على الرغم من أن حيوانات الجر التي تسير على جانبي المعبر المائي كانت القوى المحركة العادية لهذه السفن، فقد استخدمت في الصين، مثلا، جماعات من الفعلة لسحب السفن، ورفعها عبر شلالات نهر اليانجتسي.

وفي بعض الأحيان تخترق القناة مرتفعا بدلا من أن تصعد فوقه بواسطة الأهوسة، وفي هذه الحالة تثبت سلاسل على جانبي النفق الذي تخترقه القناة، وتلف هذه السلاسل حول عجلة السحب بالسفينة، التي يمكن شدها عبر النفق بإدارة هذه العجلة، وبذلك يمكن تجنب التكاليف اللازمة لجعل هذا النفق كبيرا بدرجة تكفي لتشييد معبر للحيوانات به. وفي إنجلترا كانت السفن تعبر عدة أنفاق طويلة بواسطة رجال يستلقون على ظهورهم ويدفعون جانبي النفق بأقدامهم، وهي طريقة تذكرنا إلى حد ما بطريقة الفعلة الصينين.

ونفق "روف" Rove، هو أكبر نفق للقنوات، ويوجد في فرنسا، وهو ممر عبر أحد التلال حفر من أجل قناة سفن الشحن التي تصل بين مارسيليا ونهر الرون. ويبلغ طول هذا التجويف الهائل ٤,٥ ميلا، وعرضه ٧٢ قدما، وارتفاعه ٣٧ قدما فوق الماء، الذي يبلغ عمقه ١٣ قدما. ويتميز هذا النفق بأن مقطعه العرضي أكبر من مثيله في أي نفق آخر في العالم.

وكان ظهور الطرق الحديدية معناه الموت البطيء للقنوات الصغيرة؛ فقد هجرها المسافرون إلى ركوب "الحصان الحديدي"، وعلى الرغم من أن هذه القنوات ظلت محتفظة لفترة ما بنقل الشحنات الثقيلة، كالفحم والأخشاب وخامات المعادن، فإن خطوط السكك الحديدية تميزت عليها بقدرتها على مد فروع إلى المدن الصغيرة أو خطوط جانبية على المصانع. ولذلك أخذت قيمة هذه القنوات تتضاءل تدريجيا، وأصبحت عديمة الجدوى، ثم هجرت في النهاية. ومازال من الممكن أن تشاهد بقاياها على طول أنهار البوتوماك، وديلاوير، وكثير غيرها.

أما الأهوسة المصنوعة من الحجر فقد تحطمت، وأخذت الأشجار تنمو على جانبي الممرات التي كانت تستخدم في سحب السفن. لقد حققت هذه القنوات الغرض منها، ولاقت نفس المصير الذي لاقته عربة السفر التي تجرها الخيول، والبندقية التي كانت تحشي من فوهتها.

قنوات سفن الشحن والنقل

على الرغم من أن الطرق العامة والسكك الحديدة قد حلت، في الولايات المتحدة بصفة خاصة، محل القنوات الصغيرة، فإن حركة بناء القنوات زادت وانتعشت على نطاق واسع. والواقع أننا نعيش في عصر يتميز بالقنوات التي تسير فيها سفن الشحن والنقل، والأنهار الصالحة للقيام بعمل القنوات؛ فهناك كثير من الأنهار تصلح للملاحة في جزء من السنة، ولكن تأتي عليها فترات فتنخفض المياه فيها فتصبح الملاحة فيها

صعبة أو مستحيلة، ولكن الممرات المائية تحل المشكلة، إذ يمكن للإنسان العمل على جعلها صالحة للملاحة على مدار السنة.

ونهر "أوهيو" مثال جيد للأنهار الصالحة للقيام بعمل القنوات، ففي هذا النهر أصبحت الملاحة ممكنة طوال السنة، باستثناء الفترات التي يغطيه فيها الجليد، وذلك بفضل إقامة خمسين سدا وهويسا بين "بيتسبيرج" و"كايرو"، حيث يتصل النهر بالمسيسبي.

وبعض هذه السدود من نوع "مصيدة الدب"، وهي مصنوعة من الخشب عادة، ومثبتة في القاع بواسطة مفصلات، وعندما يوجد في النهر من الماء ما يكفي للملاحة دون استخدام الأهوسة، تستوي هذه السدود فوق القاع. أما عندما تنخفض المياه، فإنها ترفع لتحجز الماء، وتنقل السفن من جزء إلى آخر في النهر عبر الأهوسة. وقد عومل المسيسبي، فيما بعد مدينة "كيوكك" Keokuk، وكثير من الأنهار الأخرى، بهذه الطريقة.

وقليل من الناس يدركون أهمية الممرات المائية الداخلية في الولايات المتحدة، فقد قدر أن طول الأنهار والبحيرات، وغيرها من الكتل المائية الصالحة تلقائياً للملاحة يبلغ خمسة وستين ألف ميل، منها ثلاثون ألف ميل أدخلت عليها التحسينات وافتتحت للملاحة بواسطة السفن التجارية وقوارب النزهة حتى عام ١٩٨٤. وتمتد أطول قناة نهرية صالحة للملاحة في

العالم، دون توقف، من مصب نهر المسيسبي حتى مدينة "فورت بنتون" التي تقع على نهر الميسوري بولاية مونتانا: وطولها ٣٥٥٥ ميلا.

ولايزال النقل في قنوات سفن الشحن، والأنهار المعدة على هيئة قنوات، بطيئا إذا قورن بالنقل بواسطة الطرق الأرضية أو السكك الحديدية، ولكن زيادة السرعة في هذه القنوات لا يفيد، ففي الممرات المائية الضيقة، تؤدي الأمواج التي تحدث بفعل السفن السريعة إلى تدمير ضفاف هذه الممرات، ولما كانت القوة اللازمة لتحريك سفينة ما تزداد على الأقل بنسبة مربع سرعة هذه السفينة، فإنه يتعين مضاعفة القوة أربع مرات إذا ضوعفت السرعة مرتين. يتضح من ذلك أن نقل البضائع الثقيلة عبر القنوات والأنهار لا يمكن أن يكون سريعا، ولكنه يمكن أن يكون زهيد التكاليف إلى حد كبير.

والواقع أن سفن الشحن الكبيرة، سواء أكانت تسير بمحركاتها الذاتية أو تدفع أو تجذب بواسطة الرفاصات التي تسير بمحركات الديزل، يمكنها أن تنقل الفحم، والخامات المعدنية، ومنتجات البترول، وغيرها من الشحنات الضخمة التي لا تفسد، بأسعار منخفضة إلى حد كبير. وهذا يصدق بصفة خاصة على الحالات التي تنفق فيها الحكومة الفيدرالية عدة ملايين من الدولارات لإقامة الأهوسة والسدود، ولتي تشمل فيها الرسوم التي يدفعها المنتفعون جزءاً ضئيلاً فقط من أسعار الفائدة على رأس المال والاستهلاك ومصاريف التشغيل والصيانة.

ومن الضروري أن نذكر بعض الأرقام لتوضيح النسبة الحقيقة لحركة النقل المائي؛ ففي عام ١٩٤٧، نقلت السفن التي تسير في المياه الداخلية للولايات المتحدة ٧٦٠.٧٥٦.٠٠٠ طنا، على حين بلغ مجموع ما نقلته سفنها العابرة للمحيطات من موانئها الساحلية والموانئ الأجنبية، ٣١٠.٤٨٣.٠٠٠طنا.

وكان نصيب المسيسيبي وفروعه من هذه الحمولة الداخلية ١٢٣.٢٩٠.٠٠٠ طنا، والبحيرات الكبرى ٣١٤.٥١٠.٠٠٠ طنا، وفي العام نفسه قامت مدينة نيويورك، وهي أعظم ميناء في البلاد، بشحن وتفريغ ١٢٤.٠٠٠.٠٠٠ طن، بينما احتل ميناء "دالاث– سوبيريور" Duluth- Superior، والواقع عند رأس البحيرات الكبرى، المركز الثاني بحمولة قدرها ٦٤.٣٩١.٠٠٠ طن. وتقع مسئولية تحسين المرات المائية الصالحة للملاحة، الداخلية منها والساحلية، وكذلك الموانئ، على عاتق سلاح المهندسين التابع للجيش الأمريكي بإشراف الكونجرس.

ومن حسن حظ الملاحة والتجارة ورفاهية الجنس البشري بصفة عامة، أن كلا من إفريقيا وأمريكا الجنوبية تتصل بالقارات الأكبر الواقعة شمالا بواسطة شريط ضيق من الأرض غير كثير الارتفاع. وقد انتفعت قناتان شهيرتان بهذا التكوين الطبيعي الملائم في تجنب الملاحة حول القارات، ويرتبط اسم رجل واحد بهاتين القناتين برباط لا ينفصم.

فقد ذكرنا من قبل أن المصريين القدماء قاموا بشق قناة من النيل إلى البحر الأحمر، الذي كان يمتد في أيامهم في اتجاه البحر المتوسط أكثر مما يمتد اليوم. ومنذ ذلك الوقت، أخذت فكرة حفر قناة عبر برزخ السويس تلهب خيال كثير من الرجال، ومن ضمنهم هارون الرشيد المشهور بليالي ألف ليلة وليلة، ونابليون، الذي أمر بعمل الدراسات اللازمة لهذا المشروع عندما كان في مصر. وأخيراً تمكن "فردينان ديلسيبس"، وهو سياسي فرنسي، بفضل بصيرته وإيمانه ونشاطه، ومن إخراج قناة السويس إلى عالم الوجود، وتقريب الهند وجميع أجزاء الشرق الأقصى من أوروبا مسافة ستة آلاف ميل.

ذلك لأن ديلسيبس كان قد عين نائباً للقنصل بالإسكندرية في عام ١٨٣٢، وعندما وصلها وجد نفسه موضوعا هو وسفينته في الحجر الصحي، ولكي يمضي الساعات المملة قرأ عدة كتب من بينهما مذكرة كتبها أحد مهندسي نابليون عن قناة تمر عبر السويس. وقد غرست هذه المذكرة في ذهنه فكرة شق البرزخ، وفي أثناء السنوات الخمس التي أقامها في مصر، قام بإجراء الاتصالات وتكوين الصداقات التي مكنته في عام ١٨٥٤ من الحصول من الحكومة المصرية على امتياز حفر القناة.

وقد صادفته صعوبات جمة في جمع الأموال اللازمة للمشروع؛ ففي ذلك الوقت لم تكن الكراكات الضخمة والآلات التي تتحرك بالطاقة، وهي المعدات اللازمة لإزالة التراب، قد وجدت بعد، كما أن كثيراً من الناس كانوا يعتقدون في استحالة تنفيذ الفكرة أصلا. كذلك بذل رئيس

وزراء إنجلترا في ذلك الوقت كل ما في طاقته لعرقلة المشروع بوصفه تهديدا لسيادة إنجلترا البحرية.

غير أن إيمان "ديليسيبس" وقدرته تغلبا على كل العقبات، وفي ٢٥ إبريل عام ١٨٥٩، حمل معوله في يده وبدأ العمل. وكانت الطبيعة في السويس عونا للعمال وعائقا لهم في نفس الوقت. فعلى الرغم من أن أغلب الطريق الذي يبلغ طوله ١٠٣ أميال كان يمتد في الرمل، كما أن أقصى ارتفاع فيه لم يكن يتجاوز ٦٠ قدما، فإن الأراضي المحيطة به كانت صحراوية، ولم يكن بوسع الأعداد الهائلة من العمال أن تعيش على الماء الذي يجلب إليهم على ظهور لتجنب الماء العذب من النيل إلى قاعدة العمليات في بورسعيد وبعض المواقع الأخرى في الطريق.

وفي عام ١٨٦٩ افتتح المرور في أول قناة توصل بين المحيطات[١٢٨] وبعد بضع سنوات عجاف، أحرزت القناة نجاحا اقتصاديا كبيرا، واستمرت على هذه الحال. وهكذا أصبح العلم القديم حقيقة واقعة، أدت إلى توفير ملايين الأميال وسنوات من السفر بالنسبة إلى سفن جميع البلدان. وقد مهد النجاح الذي تحقق في السويس الطريق إلى حل مشكلة أصعب كثيرا، ألا وهي توصيل المحيط الأطلسي بالمحيط الهادي.

---

(١٢٨) تم حفر قناة السويس بأيدي العمال المصريين الذي سخروا لتنفيذ هذا المشروع بالقوة بدون أجر ومات عدد كبير منهم. وفي ٢٦ يوليو ١٩٥٦ أعلن الرئيس جمال عبد الناصر تأميم شركة القناة وتولت إدارتها هيئة مصرية مستقلة بكفاية ومقدرة عظيمة. وقامت الهيئة بزيادة قطاع القناة من ١٢٠٠ متر مربع قبل التأميم إلى ١٨٠٠ متر مربع وبذلك أمكن زيادة غاطس السفن المارة بالقناة من ٣٥ قدما إلى ٣٨ قدما.

فمنذ وقت مبكر يرجع إلى عام ١٤٣٢ خطا إمبراطور الدولة الرومانية المقدسة شارل الخامس (الذي كان ملكا على إسبانيا أيضاً) أول خطوة نحو تشييد قناة توصل بين المحيطات عند بنما. إذا إذ أتم المختصون في عهده بحث المشروع وتخطيطه في عام ١٥٢٩، ولكن الفكرة لم ترق لخليفته على العرش الإسباني، ولم يتقدم المشروع أكثر من ذلك.

وقد أصبحت الحاجة إلى قناة تصل بين الأميركتين الشمالية والجنوبية من الوضوح والإلحاح، وخاصة بعد التقدم السريع الذي حدث في كاليفورنيا، بحيث اقتضى الأمر بحث عدة طرق لتحقيق هذا الاتصال، غير أن طريقين فقط من هذه الطرق كانا ممكنين من الوجهة العملية: طريق طويل عبر نيكاراجوا، تستخدم فيه بحيرة كبيرة، وطريق عند بنما. وفي عام ١٨٧٩ اقترح مؤتمر جغرافي عقد في باريس في صالح حفر قناة عند بنما، وقد وقع اختيار الرأي العام على دليسيبس، الذي كان قد بلغ الرابعة والسبعين من عمره ليرأس المشروع، ووافق دليسيبس.

وقد بدأ دليسيبس ومهندسوه العمل بخطأ جسيم عندما قرروا أن تكون القناة بحذاء سطح البحر، وأطلق أحدهم عليها اسما ضخما رنانا هو "مضيق بنما". وكان عرض برزخ بنما أقل من نصف عرض برزخ السويس، ولكن ارتفاع الحد الفاصل بين القارتين في الحالة الأولى كان ٣٠٠ قدما. والواقع أن القناتين كانتا مختلفين في كل شيء تقريباً: فالسويس كانت صحراوية، على حين كانت بنما رطبة، ومشهورة بأنها ضارة بالصحة، كما أن نهر "الشاجريس" Charges الجامح كان يخترق طريق القناة.

وقد بدأ الفرنسيون العمل بحماس شديد، ولكن كانت تواجههم صعوبات هائلة لم يعرفوا منها إلا القليل، ولم يستعدوا لمواجهتها، وكان أسوأها الكميات الهائلة من الصخور والتراب التي يتعين إزالتها، ونهر "الشاجريس"، وحمى "الشاجريس"، والمناورات السياسية وفساد الإدارة. كل هذه العوامل تحالفت على الفشل الذريع الذي حاق بهم. إذ كان الرجال يموتون كالذباب، وانتهت المحاولة بالإفلاس والفضيحة. والواقع أن دليسيبس نفسه كان مخلصا في عمله، وفقد في بنما الثروة وكثيرا من السمعة الطيبة التي كان قد اكتسبها في السويس، ومات فقيرا، ولكنه كان الرجل الوحيد الذي بنى قناة عبر أحد البرازخ التي تفصل القارات، وحاول شق البرزخ الآخر.

وليس هناك حاجة إلى إيراد بقية قصة بنما بتفصيل هنا، فقد تكفل المهندسون الأمريكان والجيش الأمريكي بالعمل الذي قام به الفرنسيون، وبعد مجادلات عنيفة قرروا شق قناة ذات هويس ترتفع ٨٥ قدما عن سطح البحر. وروضوا نهر الشاجريس الجموح بإقامة سد وبحيرة عليه لحجز فيضانه. كما قهروا الملاريا وغيرها من أمراض المناطق الحارة، وأتموا العمل في الوقت المحدد وبالتكاليف المقررة.

وتعد قنوات السفن العالمية من أعظم الأعمال التي ابتكرها الإنسان وأنجزها من أجل توفير الوقت والجهد؛ فقناتا بنما والسويس تغنيان عن الرحلات الطويلة التي كان لا بد من القيام بها حول أمريكا الجنوبية

وإفريقيا قبل إنشائهما. وتوفر قناة بنما على السفن المسافرة بين نيويورك وسان فرانسسكو مسافة قدرها ٩٠٥٠ ميلا.

ومن الصعب تقدير قيمة الوقت الذي وفرته القنوات للبحارة والمسافرين، والاقتصاد في الوقود، والانخفاض في استهلاك السفن والآلات. ولولا القنوات لما استطاعت سفينة أن تدور حول نياجارا، أو تدخل في بحيرة سوبيريور أو تخرج منها لتنقل الكميات الهائلة من خام الحديد والحبوب وغيرها من المنتجات التي تتدفق الآن عبر موانئها.

أهم عشر قنوات عالمية للسفن

	الحمولة السنوية الأطنان[١٢٩]	الطول بالأميال	العمق بالأقدام	العرض بالأقدام	تاريخ الإتمام
شلالات سانت ماري ميشيجان	72,777	1,6	24,5	80	1919
السويس	33,215	103	42,5	197	1869
بنما	31,029	50,7	45	300	1914
هيوستون، تكساس	27,780	57	34	200	1914
كيل، ألمانيا	22,929	60	45	150	1895

[١٢٩] متوسط الأطنان المسجلة لعدة سنوات قبل عام ١٩٤٣، الأرقام محسوبة بألوف الأطنان، جمعت هذه البيانات من أطلس دائرة المعارف البريطانية

ويلاند، أونتاريو	11,890	28	26,5	200	1931
مانشستر، إنجلترا	7,272	35,8	28	120	1894
كيب كود، ماساتشوستس	4,942	17,5	32	500	1914
تروللهاتان، السويد	2,032	٢٨	26,5	200	1931
بحيرة واشنطون، واشنطون	1,442	٨	30	100	1934

الجدول السابق يقدم للقارئ معلومات عن أهم قنوات السفن.

والقناة التي تنقل أكبر حمولة من السفن والبضائع على الإطلاق، لا تصل بين محيطات أو بحار ضخمة، ولا تظل مفتوحة للملاحة طوال السنة. هذه القناة هي الممر المائي القصير، الذي يغلق في وجه الملاحة بسبب الجليد كل شتاء، والذي ينقل السفن حول المساقط المائية الواقعة بين بحيرتي سوبيريور وهرون.

وقد تضمن الأعمال والمشروعات الكبيرة التي أنجزت في القرن الحالي من أجل الري والصرف حفر عدو قنوات، بعضها ضخم للغاية. فالقناة الأمريكية المعروفة باسم "قناة أمريكا الكبرى" All-American Canal، وهي أكبر قناة للري في العالم، حفرت من أجل استصلاح مليون فدان من الأراضي الصحراوية في كاليفورنيا الجنوبية. وقناة المجاري والسفن (قناة شيكاجو للصرف سابقا)، التي تربط بين الفرع الجنوبي لنهر شيكاجو ونهر

"ديبلين" Desplaines تكون حلقة اتصال بين بحيرة ميشجان ونهر الينوى، ومن ثم نهر المسيسيبي وخليج المكسيك. وبذلك أصبح من الممكن أن تدور السفن حول ذلك الجزء من الولايات المتحدة وكندا الواقع شرقي نهري المسيسيبي والينوي، جنوبي البحيرات العظمى ونهر سانت لورانس.

لقد سعى الإنسان، منذ أن أصبح يمتلك أشياء يمكن نقلها ولكنها اثقل من أن يحملها، إلى إيجاد أرخص الطرق وأسهلها لنقلها. واهتدى منذ وقت طويل إلى أن الماء هو أرخص هذه الطرق، وعلى الرغم من أنه اهتدى إلى وسائل أسره للنقل، فإن هذه الوسائل لم يكن من بينها ما هو أرخص من الماء.

ولذلك أخذ الإنسان يوجد المياه الصالحة للملاحة في الأماكن التي لم تكن بطبيعتها تحوي هذه المياه. وقد وصل الإنسان في عمله هذا، كما رأينا، إلى مدى بعيد، ومازالت النهاية في علم الغيب. لقد كان العمل الذي بدأه حيوان القندس عملا ضخماً بحق، ومن المؤسف أنه لا يستطيع إدراك المدى الهائل الذي وصلت إليه فكرته الموفرة للجهد.

الفصل الثامن

صيانة الماء.. صيانة للحياة

إن النمو هو ناموس الحياة الأول، وليس هناك شيء يستطيع النمو أو حتى الحياة دون الماء. فماذا عسانا أن نقول عما فعلناه لصيانة هذه المادة التي هي أثمن المواد جميعا؟.. الجواب هو أننا تركنا مواردنا المائية نهبا لعوامل الإهمال والتلوث المعيب، وقد بدأنا الآن نشعر بوقع الصدمة، ونفكر في صيانة الماء.

وقد تبدو الحاجة إلى صيانة الماء، بالنسبة إلى أغلب أولئك الذين لا يعني عندهم الحصول على الماء إلا فتح الصنبور لسحب كميات غير محدودة من الماء. قد تبدو أمراً مبهما، بعيدا عن أذهانهم، ليست له أهمية مباشرة كبيرة. وكم أتمنى أن أثبت في ذهن كل قارئ الشعور بالحاجة المباشرة العاجلة إلى صيانة هذا المورد الذي يعد أكثر الموارد الطبيعية فائدة؛ فالإسراف في استعمال الماء لا يؤثر في الثمن الذي يتعين علينا دفعه في الماء فحسب، بل يؤثر كذلك آخر الأمر في الثمن الذي يتعين علينا دفعه في الطعام وكل شيء آخر تقريبا نعده ضروريا للحياة الرغدة.

إن الإنسان وافد حديث على الأرض، فسنواته الخمسمائة ألف أو ربما المليون ليست سوى يوم في تاريخ الأرض، ومرحلة عابرة في وجود كثير

من أنوع الحيوانات المعاصرة، ولم يستطع الإنسان تغير خواص بيئته إلا منذ أن نفض عن نفسه غبار العصر الحجري، وتعلم استخلاص المعادن وصنع أدواته منها. وعندما تعلم منذ فترة وجيزة أن يستغل البخار والكهرباء، ويستخدم الطاقة المختزنة منذ وقت طويل في الفحم، والنفط، والغاز، اكتسب القدرة على إحداث تغييرات عميقة في تلك البيئة. ولكنه استخدام المعرفة الجديدة والأدوات والقوى الفعالة بإهمال، فأحدث ندبات غائرة في وجه الأرض، واختلالا في توازن الطبيعة من الجبال حتى البحار.

ففي بلاد جديدة غنية (كالولايات المتحدة)، قام الإنسان بتحويل مناطق شاسعة تنمو فيها بغزارة أعشاب قوية مقاومة للجفاف إلى أراض لزراعة المحاصيل، كما اجتث الغابات التي تغطي آلافا من التلال والوديان، محدثا بذلك فجوات ترابية، وممهدا السبيل لعوامل التعرية المدمرة. وعندما رأى التربة المكشوفة تذروها الرياح في السنوات الجافة، وتجرفها المياه في السنوات المطيرة، أخذه العجب ونار منه الضيق. وعندما كانت تأتي السنوات المطيرة، وترتفع الأنهار في فيضانات غير متوقعة، كان ينسى الفجوات الترابية ويقول: فلنبن سدودا لتحجز هذه المياه المسببة للمتاعب. أما عندما كانت السنوات الجافة تعود، فقد كان ينسى الفيضانات. ومع ذلك فإن العلاج الأكيد الدائم لكلتا الحالتين واحد. فليست هناك وسيلة لوقاية التربة من الانجراف بفعل المياه والتآكل بفعل الرياح سوى إبقائها مغطاة حيث تتساقط قطرات المطر، وإدخال مزيد من الماء في الأرض، ذلك الخزان الهائل، المصون، المثمر. إن لوم الطبيعة لا

يجدي والتعاون معها أفضل، فهي لن تتغير. ومنذ وقت طويل كتب الشاعر "مليتون" يقول

لا تلق اللوم على الطبيعة! فقد قامت بدورها،

وكل ما عليك هو أن تقوم، أنت، بدورك.

ويتزايد سكان هذه البلاد (أمريكا) بسرعة، وكذلك سكان العالم بأسره؛ ففي كل أربع وعشرين ساعة يزيد عدد سكان الأرض بنحو ستين ألف نسمة. وهناك بليون من الناس يعيشون الآن على حافة الجوع القاسية. والماء هو الضرورة الأولى للسكان، إذ لا يمكن إطعامهم بدونه. وليست هناك وسيلة لمجابهة أكثر المشكلات الاقتصادية إلحاحا، ومنح الأجيال المقبلة أفضل فرصة لتجنب الفاقة والجوع الجماعي، إلا عن طريق التحكم في الماء وصيانته بحكمة. وقد ازداد استهلاك الفرد للماء زيادة سريعة هائلة؛ فالولايات المتحدة تستهلك حوالي مائتي بليون جالون يوميا في جميع الأغراض. ويأتي خمس هذه الكمية تقريبا من الآبار، التي تمد نحو ثلثي العدد الكلي من البلاد التابعة للمجالس البلدية بجميع حاجته من الماء. وقد تضاعف استخدام الصناعة للمياه الجوفية منذ عام ١٩٣٥. ويستهلك الأمريكان ٦٥.٠٠٠ جالونا من الماء في إنتاج طن من الفولاذ، و ٨٥.٠٠٠ جالونا لإنتاج طن من الورق، وعشرة جالونات لتبريد جالون من الجازولين، وخمسة عشر جالونا لتبريد جالون من الجعة. ويلزم طن من

الماء لإنتاج وتنقية رطل من السكر. أما تكييف الهواء فيستهلك كميات هائلة من الماء.

وفي كاليفورنيا، يأتي ثلثا المورد المائي من الأرض. وفي بعض المناطق، يستخدم الماء الجوفي بمعدل يزيد ثمانية عشر ضعفا عن معدل تجديده. وليس لهذه العملية سوى نتيجة واحدة، هي: انخفاض منسوب الماء الجوفي، ونضوب الآبار والينابيع، وزيادة نفقات رفع الماء بالطلمبات، وأخيرا عدم وجود القدر الكافي من الماء لسد حاجات السكان. وحينئذ يتعين جلب الماء من مسافة بعيدة بأسعار مرتفعة، أو رحيل الناس إلى مكان آخر.

وهناك مناطق في الجنوب الغربي من البلاد نضب فيها معين الآبار بالفعل، وهجرت فيها المزارع والمساكن بسبب نقص الماء. ونضوب المورد المائي لا يقتصر بأية حال على الأجزاء الجافة من البلاد. ففي الشرق، حيث يبلغ معدل المطر أربعين بوصة أو يزيد، انخفض مستوى الماء الجوفي عدة أقدام، فقل بذلك إنتاج الآبار والينابيع، أو جفت بالفعل. وفي كثير من الأماكن، أدى انخفاض الماء الجوفي إلى وصول الماء المالح أو الماء الملوث المتسرب من مداخل المياه، أو الخلجان، أو الأنهار إلى كثير من الآبار وفسادها.

وقليل منا يدركون أهمية الماء الجوفي نظرا إلى اختفائه عن أنظارنا، والواقع أن حوالي ١٥٠٠ ميل مكعب من الماء تسقط على الولايات المتحدة كل عام، يتبخر نصفها تقريبا، ويجري ربعها فوق السطح، ويتوغل

الباقي في الأرض. وتبلغ كمية المياه الجوفية مقدارا هائلا، ففي المائة قدم الأولى تحت سطح البلاد بأجمعها، يوجد على الأرجح قدر من الماء يبلغ متوسطه سبعة عشر قدما.

على أن الأوجه التي يستهلك فيها هذا الخزان المائي هائلة بدورها فالنباتات الخضراء التي تستخدم طاقة الضوء الشمسي، تقوم بسحب كميات كبيرة من الماء من التربة، ومن ثاني أكسيد الكربون من الهواء، لإنتاج الطعام اللازم لجميع الأحياء الحيوانية التي تعيش في اليابسة. والواقع أن جذور النبات تمتص سيلا لا ينقطع من الماء، الذي ينفث بعد ذلك في الهواء. وقد يبلغ ما يسحبه حقل من نبات الفضفضة (البرسيم الحجازي) alfalfa مساحته عشرة أفدنة من ماء الأرض في منتصف يوم مشمس في الصيف ستة أطنان من الماء في الدقيقة، ينفث أغلبه في الهواء بعد أن يقوم بدوره المذيب والوسط الناقل لغذاء النبات الذي يستخدم في العمليات الكيميائية العجيبة المؤدية إلى نمو النبات.

وبالإضافة إلى فائدة الماء المباشرة في إبقاء النباتات والحيوانات حية، فهو ضروري من أجل توليد الطاقة. وسوف تزداد أهمية هذه الضرورة كثيرا في المستقبل؛ فالإنسان لم يبدأ إلا حديثا في السحب بشدة من مخازن النفط، والغاز، والفحم التي تراكمت خلال مئات الملايين من السنين. ويبدو أن أغلب هذا النفط والغاز سيكون قد استهلك أو ضيع سدى في خلال المائة سنة القادمة. كما أن جميع الفحم الذي يستخرج الآن بسهول سينتهي في خلال ألف عام، على أن طاقة الشمس ستكون مستمرة في

رفع الماء الذي سيعطينا الطاقة عندما يعود إلى المحيط ثانية. وسوف ينتج نفس هذا الجهاز الهائلة للطاقة، عن طريق عملية التمثيل الضوئي، الطعام لنأكله والخشب لنحرقه.

والمصادر الرئيسية الوحيدة التي يمكن أن تأتي منها طاقة المستقبل، هي: الماء، والاستخدام المباشر لطاقة الشمس، والوقود النباتي، وربما الطاقة الذرية. ومن الصعب أن نتخيل كيف يمكن للإنسان الحصول على أي إنتاج كبير من الطاقة من ضوء الشمس مباشرة دون أن تزيد تكاليف هذا الإنتاج كثيرا عن التكاليف الحالية لإنتاج الطاقة من الفحم أو النفط. وفي اعتقادي أن الحصول على الطاقة الذرية سيكون أكثر تكلفة حتى من الحصول على الطاقة الشمسية، ومن المؤكد أننا نستطيع تشغيل وحدة للطاقة تعمل بالوقود الذري، ولكن تحضير هذا الوقود الذري سيتطلب بذلك طاقة أكبر من الطاقة التي يمكننا الحصول عليها منه. فإذا كان لا بد لمنجم فحم أن يحرق طنا ونصف طن من الفحم لاستخراج طن واحد، فإنه يكون قد استهلك قدرا من الطاقة أكبر مما ينتجه.

والأرجح أن تسير العمليات الذرية على هذا المنوال وهكذا يبدو أن الطاقة المائية ستكون أهم كثيرا بالنسبة إلى أحفادنا منها بالنسبة إلينا الآن، ونحن نستخدم الماء أيضا في الملاحة. وقد أصبحت مئات الأميال من أنهارنا الأمريكية غير صالحة للملاحة بالفعل بسبب امتلائها بالطمي. وكذلك تصبح خزانات المياه الكبرى عديمة الفائدة تماما في ضبط الفيضان،

أو الملاحة، أو التزويد بالماء، عندما تمتلئ بالغرين، كما أن فائدتها في توليد الطاقة أو الري تتلاشى بدرجة كبيرة.

والواقع أن كثيرا من البحيرات والخزانات تمتلئ بالغرين بمعدل ينذر بالخطر، أما المدة التي تستغرقها هذه العملية فتتوقف على السرعة التي يجرف بها هذا الغرين غيره من المواد الصلبة في هذه البحيرات والخزانات ويستقر فيها. وهذا بدوره يتوقف على كمية الأمطار التي تجري على سطح الأرض، فتجرف التربة وتحملها، وكذلك على الكمية التي تهبط تحت السطح وتصبح مياها جوفية، ثم تظهر على السطح ثانية على هيئة مورد صاف منتظم من مياه الينابيع والآبار.

وسوف نرى أن جريان الأمطار يتوقف أساسا على طبيعة السطح الذي تسقط عليه قطرات هذا المطر، وهذه هي النقطة الحساسة، الفائقة الأهمية.

لقد سمعنا الكثير عن عمليات تآكل التربة في السنوات الأخيرة، ويكاد كل ما قيل أو كتب في هذا الصدد يتناول النتائج الثانوية لهذه العمليات: كاكتساح الأخاديد، وجر التربة السطحية الخصبة، وملء الأنهار، أما النتيجة الرئيسية للتآكل فهي إزاحة التربة وتعليقها في الماء، إذ لا بد من حدوث هاتين العمليتين قبل أن يصبح من الممكن حمل هذه التربة بعيدا. وهذه التأثيرات تحدث أساسا في الزمان والمكان الذي تصطدم فيه قطرات المطر بالسطح. وحدوث الأخاديد دليل رائع على أن ماء

المطر لم يمتص بواسطة التربة، بل اضطر إلى الجريان فوقها، وهو نتيجة محلية ثانوية. أما إذا توغلت نسبة كبيرة من الماء في التربة فإنه يحدث جريان قليل، وتتجمع كمية كبيرة من الماء الجوفي، ولا تحدث أخاديد، والأهم من ذلك كله، أن لا يحدث سوى تآكل سطحي بسيط لا يكون محليا، بل يعمل في الحقل أو الوادي بأجمعه.

وقد أثبتت الدراسات الحديثة التي أجريت بواسطة آلة التصوير السريعة، الأهمية الحيوية للتآكل الذي يحدث بفعل الرذاذ. والواقع أن قطرات المطر التي تبدو وكأنها تتوالى على الأرض العارية بخفة ورقة إنما هي خداع للعين والأذن معا. ذلك لأن كل قطرة مطر تضرب سطح الأرض كأنها قذيفة. ويتوقف التلف الذي تسببه على حجمها ومربع سرعتها. وهذه القذيفة المائية تحدث تأثيرين، إما ضار: الأول إزاحة التربة السطحية وتشتيتها، والثاني ضغط التربة الموجودة تحت السطح أو تمليطها، مما يؤدي إلى منع الماء من التسرب فيها دون عائق. والواقع أن المطر الغزير قد يجعل بعض أنواع التربة غير منفذ للماء تقريبا. وهكذا نرى أن إيقاف التآكل الناتج عن الرذاذ لا يقل أهمية عن إطفاء الحريق في بدايته.

وفي الأماكن التي تكون فيها المنحدرات حادة، تصبح حركة التربة سريعة، وتحفر أخاديد كبيرة في الحقول. بل أن حركة التربة قد تكون كبيرة حتى في الأماكن التي لا تتكون فيها أخاديد. وقد عثر أحد الفلاحين، بينما كان يحفر الأرض عند سفح أحد التلال، على سياج حديدي كانت قمته مطمورة على بعد عدة أقدام من سطح الأرض. ولم تكن هناك أخاديد،

ولكن التآكل السطحي الذي يحدث بفعل الرذاذ قام، خلال خمسة وثلاثين عاما فقط، بنقل كمية من التربة تكفي لتغطية السياج.

ولنبدأ من البداية لنرى كيف يمكن التوصل إلى صيانة الماء. إن كل المياه الميسرة للحياة في اليابسة تأتي من الهواء على هيئة مطر، أو ثلج، أو برد، أو ندى. والندى لا يساهم في عملية التآكل، على حين يساهم البرد والثلج فيها مساهمة ضئيلة، أما التآكل الفعال فيكاد ينتج كله بفعل الأمطار.

فإذا هبطت قطرة المطر وتسرب تحت السطح، فإنها تستطيع تغذية جذور النباتات ومختلف الأحياء التي تعيش في التربة. كما أنها تجدد الماء الجوفي، ذلك الخزان الهائل الذي نستمد منه نصف جميع الماء الذي نستخدمه. وما أن يدخل الماء في الأرض حتى يتغلغل فيها ببطء، ويحفظ تدفق الجداول والأنهار مستمرا، صافيا لاينضب. وهكذا تستطيع هذه المجاري المائية أن تعول مزيدا من الأحياء المائية، كما أنها تصبح أفضل بالنسبة إلى توليد الطاقة المائية التي تأتي بأحسن النتائج في حالة ثبات التدفق. أما التدفق السريع فيعني الفيضانات، وفيه تزداد المياه عما تستطيع وحدات توليد الطاقة استخدامه، ثم يعقب ذلك فترات تصبح فيها المياه غير كافية لتشغيل هذه الوحدات بطاقتها الكاملة، أي أن التدفق الثابت يتيح الحصول على أقصى قدر من الطاقة من كمية معينة من الأمطار.

وتتوقف نسبة الماء التي تتوغل في التربة على عاملين، هما: مدى غزارة الأمطار – وهو ما لا نستطيع أن نفعل إزاءه شيئا، ونوع السطح الذي تسقط عليه الأمطار – وهو ما نستطيع التحكم فيه إلى حد ما، وهذه هي بداية الطريق في صيانة الماء، وأهم نقطة فيه.

والتربة العارية قد تمتص قدرا ضئيلا من الماء يصل إلى ٥٥٠٠ جالون في الساعة في كل فدان. أما التربة المحمية بغطاء من الحشائش أو النباتات النامية فقد يمتص الفدان منها ما يزيد على ٢٥.٠٠٠ جالون في الساعة.

وتقوم أوراق الأشجار والشجيرات والحشائش بالحد من سرعة المطر، وتتيح له أن يتقاطر على الأرض برفق. كما أن ظلال الأوراق أو أي شكل آخر أكثر استعدادا لتلقي المطر وامتصاصه، وحيثما توجد أشجار، يوجد عادة بساط من الحشائش أو طبقة من الأوراق الميتة، ولذلك تهيئ الغابات أفضل الظروف للاحتفاظ بماء المطر، فالأشجار تفرش التربة بغطاء متعدد الطبقات، وذلك بفضل أوراقها الحية والميتة، وتربتها السطحية اللينة المكونة من عفن الأوراق، وجذورها المتشابكة. والواقع أن الغابة كالإسفنجة، تتشرب بماء المطر، ثم تتخلى عنه تدريجيا لري جذور النبات تحت السطح، وتجديد الماء الجوفي الذي يزود الينابيع والآبار، وتمتص الأرض الجيدة المغطاة بالغابات مقدارا من المطر يتراوح بين أربع وخمس بوصات، أو ما يزيد على مائة ألف جالون للفدان. وإذا كان معدل سقوط الأمطار لا يتجاوز ٠.٤ من البوصة في الساعة، فإن هذه الأرض تستمر

في امتصاص وتخزين مقدار من الماء يصل إلى ١٧ بوصة، أي ما يزيد على أربعمائة ألف جالون للفدان.

أما إزالة الغابات فتسبب جريان الماء فوق السطح بسرعة، فتصطدم الأمطار بالأرض العارية، وتجرف التربة السطحية، وتنحت أخاديد عميقة. وهكذا جرفت ملايين الأطنان من أجود أنواع التربة من الحقول وألقيت في مجاري الأنهار ومصابها حيث لوثتها وأفسدتها. يحدث نفس الشيء عندما يزال العشب من المراعي بإفراط إذ يتعرى السطح، وتنجرف التربة السطحية أو تذروها الرياح. وعندما تكون التربة عارية وخالية من الجذور وديدان الأرض، تضغط بشدة وتصبح غير منفذة للماء، ويبلغ التآكل وجريان الماء فوقها درجة هائلة.

وهكذا قلت إلى حد كبير خصوبة ملايين الأفدنة، أو ضاعت نهائيا في بعض الأحيان. وقد أدلى أحد الخبراء أمام إحدى لجان الكونجرس بالتصريح التالي: "لقد قمنا خلال الفترة القصيرة التي عشناها في بلدنا بإتلاف ٢٨٢ مليون فدان من الأراضي الزراعية والأراضي الصالحة للزراعة إتلافا تاما. كما أن التآكل وعوامل التعرية تعمل بنشاط على إتلاف ٧٧٥ مليون فدان أخرى".

على أنه لا بد من تطهير الأرض، وزراعة الحقول والحدائق لإمداد السكان الذين يتزايدون بسرعة بحاجتهم من الطعام. ولذلك يتعين إيجاد الوسائل الكفيلة بصيانة الماء، وإبقاء التربة، وزراعة محاصيل أكثر في نفس

الوقت. ولا يخفى أن حل هذه المشكلة يتضمن جوانب عدة، ويستلزم بعض التضحيات. ولا بد أن يتعاون الفلاح، وخبير الغابات، والمهندس لتحقيق صيانة الماء والحد من تآكل التربة.

وتهيئ حقول الحشائش، والمراعي، والبساتين غطاء جيدا للتربة إذا لم يجتث عشبها أكثر من اللازم. أما المحاصيل التي على شاكلة الذرة والقطن والطباق وأغلب الخضروات فتتطلب زراعة مستمرة، وتترك الأرض العارية مكشوفة لفترات طويلة. وهناك محاصيل أخرى بين هذه وتلك. والفلاح الماهر هو الذي يبقي التربة، وخاصة في المنحدرات، مغطاة قدر الإمكان ببعض النباتات النامية أو ببقايا بعض النباتات التي كانت نامية. وهذا هو الأساس الجوهري الأول والكبير. أما الخطوة التالية في صيانة الماء ومنع التآكل فهي جعل اندفاع الماء فوق التربة أمرا صعبا. ويتأتى ذلك باتباع نظام الحرث المحيطي والزراعة في خطوط وصفوف.. كما أن من المهم إعادة تشجير الأرض التي لا تستخدم في الفلاحة. وقد أمكن إعادة جزء كبير من خصوبة كثير من الأراضي التي استنفدت وتآكلت بدرجة كبيرة وإرجاع صلاحيتها للزراعة، وإحياء ينابيع استمرت جافة لعدة سنوات، وتعميق المجاري المائية، باتباع هذه المباديء البسيطة الواضحة، كما يمكن إنجاز ما هو أكبر من ذلك بكثير في المستقبل.

وقد أنفقت الحكومة الأمريكية مبالغ طائلة في بناء السدود التي يعتقد جمهرة الناس أنها كفيلة بضبط الفيضانات إلى حد كبير، ومنع تآكل التربة بطريقة ما، كما استخدمت أغلب هذه السدود في توليد الطاقة التي

كان يمكن إنتاجها من الفحم بنفقات أقل كثيرا. والواقع أن فائدة هذه السدود في ضبط الفيضان أسفرت عن نتائج ضئيلة في أغلب الحالات، أما فائدتها في الحد من ضياع التربة السطحية فمعدومة.

والواقع أن هذه السدود الضخمة التي تغمر مساحات شاسعة من الأراضي الزراعية الخصبة باستمرار، كثيرا ما تسبب خسارة تفوق ما تحققه من مكاسب. وقد دلت الدراسة التي أجريت على منطقة نموذجية من مناطق تصريف أحد الأنهار على أن ٥٠% من الدمار الذي يسببه الفيضان يحدث في مناطق المدن، و ٥٠% منه في الأراضي الزراعية الواقعة على طول المجاري الرئيسية، و٤٠% منه في الأراضي الواقعة حول الروافد الأساسية، و ٧٥% في الأراضي الزراعية الواقعة في الوديان التي تغمرها المياه الأمامية. وهذا الدمار الأخير الأكبر لا يمكن تقليله بواسطة السدود التي تبنيها الحكومة. وطالما كانت الأرض تسكب الماء كالسقف المصنوع من الصفيح، فيستمر التآكل المدر وتبقى مشكلة الفيضان الخطيرة.

وهكذا يتضح أنه لا يمكن التقليل من أهمية إدخال مياه الأمطار في الأرض إذ أن ذلك يحفظ الماء والتربة معا، كما أنه أقدر الطرق على تقليل الدمار الناتج عن الفيضانات.

وتشتمل كثير من أجزاء العالم على أمثلة مؤسفة للخراب الذي جلبه التآكل على مناطق كانت خصبة وقتا ما؛ ففي سوريا جهات كانت تنتج محاصيل وثرة وتعول عددا كبيرا من السكان أصبحت الآن مهجورة

جرداء. فمنذ زمن بعيد جرفت التربة السطحية، واختفت المجموعات السكانية الغنية التي كانت تعيش في التلال، ولم يبق من دليل على وجودها ذات يوم سوى القرى والطرق الخربة وملأت التربة التي كانت تكفل الحياة لسكان التلال موانئ المدن الساحلية التي كانت تعج بالحركة في ذلك الوقت والتي أصبحت أطلالا الآن.

وفي الأماكن التي كانت تنمو فيها أشجار الأرز اللبنانية، توجد الآن ربي عارية منزوعة التربة، قاحلة وعاجزة عن توفير أسباب النماء حتى للحشائش والشجيرات ذاتها. وأن في قنوات وخزانات العراق وسيلان التي أنضبها الغرين، وفي المناطق المجدبة في الصين وكثير غيرها من البلدان القديمة التي كانت خصبة يوما ما، أبشع إنذار لما سيحدث حتما في أمريكا ما لم يقابل تهديد التآكل بعمل حازم، ينفذ بذكاء.

وإننا لنجد في الكلمات التالية التي كتبها منذ أكثر من ألفي وثلاثمائة عام واحد من أعمق المفكرين في جميع العصور تنبوءا بما يحدث اليوم في أمريكا: "على أنه في الفترة التي نحن بصددها، عندما كانت اليونان القديمة لا تزال سليمة، كانت جبالها الحالية تلالا عالية تكسوها التربة، وكانت سهولها الحالية التي تعرف باسم التلال الحصباء مليئة بالتربة الحصبة، وكانت جبالها مغطاة بالغابات الكثيفة التي لا يزال من الممكن رؤية آثار منها. وفي اليونان الآن جبال لا تستطيع أن تكفل الحياة إلا للنحل، ولكنها منذ زمن ليس ببعيد كانت مغطاة بأشجار باسقة تنتج الأخشاب التي تصلح لسقف أضخم المباني، ولا تزال الأسقف المصنوعة من هذه

الأخشاب موجودة حتى الآن. كذلك كانت توجد كثير من الأشجار الباسقة المزروعة، على حين كانت الأرض تنتج للمواشي مراع لا حدود لها، وكان محصول الأمطار السنوي لا يتعرض للضياع، كما يتعرض اليوم، عن طريق السماح له بالجريان فوق السطح المعري إلى أن يضيع في البحر، ولكن الأرض كانت تتلقاه، بكل ما هو عليه من وفرة، في جوفها حيث كانت تختزنه في طينها الذي لا ينفذ منه شيء، وهكذا كانت تستطيع دفع الماء المنصرف من المرتفعات في الفجوات على هيئة ينابيع وأنهار ضخمة توزع مياهها على مناطق واسعة. وإن المعابد التي لا تزال موجودة حتى اليوم في الأماكن التي اختفت منها الموارد المائية لدليل على صحة فرضي هذا". (أفلاطون، محاورة "كريتياس")

وهكذا استطاع ذكاء أفلاطون الخارج وعقله الراجح أن يرى بوضوح العلاقات الأساسية بين الغابات، وصيانة التربة الخصبة، ووفرة المورد المائي، فعرف أنه عندما تتعرى التربة بإزالة الغابات، تضيع هذه التربة والماء معا. وكم يكون مجديا لو أن المعاصرين من الناس "ورثة العصور جميعا" استمعوا بكل ما لديهم من اعتزاز وافتتان بالمخترعات والمنجزات العجيبة، إلى حكمة الماضي، واتعظوا بالخراب الذي نتج عن الحماقات التي ارتكبت فيه.

ويعاني اليوم أربعون مليونا من الأمريكيين، بطريقة مباشرة، من مشكلات مائية تكاد تكون خطيرة، على حين يتأثر كل فرد منهم، بطريقة غير مباشرة، برفاهية جميع أجزاء البلاد، ويمكن تلخيص جميع المشكلات

المائية في بضع كلمات قصيرة: "الماء أقل من اللازم، أو أكثر من اللازم، أو أسوأ من اللازم"، فعلى حين أن كاليفورنيا الجنوبية تكافح كفاحا مريرا للحصول على مزيد من الماء فإن السكان على ضفاف الميسيسيبي والميسوري يكافحون كفاحا أمر لرفع جسورهم، وتقويتها للوقوف في وجه النهر الثائر. وفي مئات من المجاري المائية أدى الطمي والتلوث إلى جعل الماء غير صالح لاستعمال الإنسان، وقتل الأسماك وغيرها من الأحياء المائية التي كانت وفيرة ومفيدة وقتا ما.

ومن الضروري أن يدرك الناس وممثلوهم في الحكومة أن حل هذه المشكلات الثلاث جميعا يتضمن العزل مع الطبيعة بدلا من العمل ضدها، وأن من الواجب معالجة الأسباب لا النتائج؛ فبناء كثير من الخزانات الضخمة، مثلا، عمل لا يتمشي مع الطبيعة، إذ أنه علاج للنتيجة لا للسبب. بل أن بناء السدود ليس علاجا دائما حتى للنتيجة ذاتها. فالطبيعة ستقوم بملء الخزان الموجود خلف السد بالغرين، وستنظر الأجيال المقبلة إليه بوصفه أثرا ضخما باهظا التكاليف يدل على الحماقة والجهل.

وليس هناك نظام من السدود كان يستطيع، مهما بلغت تكاليفه وضخامته، منع الظروف التي وصفها أفلاطون في اليونان لفترة طويلة، لو أن تربتها جردت من غاباتها وأصبحت عارية، أما الطريقة الوحيدة التي كان يمكن بواسطة صيانة تربتها الخصبة التي تغطي جبالها، وتلالها، ومنحدراتها صيانة دائمة، كذلك صيانة مواردها المائية، فهي قطع الأشجار بطريقة لا تترك معها هذه التربة عارية لا حول لها ولا قوة.

وتنطبق هذه القاعدة بنفس القوة على تلال ومنحدرات أمريكا وبقية أجزاء العالم، فليس في هذه المسألة شيء جديد أو شيء لم يثبت، وليس من المهم أيضا أن يكون تاريخ ذلك قبل الميلاد أو بعده.

إن بناء خزان من أجل ضبط الفيضان أشبه بترك النار تندلع لفترة طويلة قبل محاولة إخمادها، إذ ينبغي علينا أن نبدأ من حيث تبدأ المتاعب، أي من حيث تسقط قطرة المطر، فنبقى التربة على قدر ما تسمح به الطاقة البشرية، مغطاة بشيء ما: كالأشجار، أو الحشائش، أو ما يمكن تركه من المحاصيل. ولابد من السماح للماء بل وإرغامه على الدخول في الأرض، التي هي خزان الطبيعة الذي يتضاءل إلى جانبه أي خزان يمكن أن نبنيه.

كذلك يتعين علينا أن نحد من كل ما يؤدي إلى الإسراف في استخدام الماء، وأن نظهر جداولنا وأنهارنا من التلوث. كل ذلك يتطلب تعليما، وتخطيطا حكيما، وعملا جادا، أموالا كثيرة، ولكنه يقربنا من العلاج الناجح على الدوام.

ومن الواضح الآن أن الشرط الأول لصيانة الماء والانتفاع به هو إدخال مياه الأمطار في الأرض. وينبغي علينا بعد ذلك أن نفعل ما في وسعنا لنضمن عدم ضياع هذا الماء عندما نسحبه ثانية. والأرجح أن أكبر قدر يفقد من المياه الجوفية يتم عن طريق تدفق الآبار. وليس هناك من

يعرف النسبة المستخدمة من المياه المتدفقة من الآبار الارتوازية، ولكنها ضئيلة بالتأكيد.

ففي الجزء الجنوبي من ولاية ميريلاند، الواقع على طول خليج تشيزابيك، حيث يوجد نهرا البوتوماك والباتوكسنت Patuxent وروافدهما، يمكن الحصول على بئر متدفق في أي مكان تقريبا بالحفر. وتتدفق المياه من هذه الآبار في كل دقيقة من السنة، ولكن الماء المنساب من أغلبها لا يستخدم إلا لبضع دقائق في اليوم فقط، أما الباقي، الذي تبلغ نسبته ٩٥% أو أكثر على الأرجح، فيضيع هباء.

ويعني التدفق الذي يبلغ عشرة جالونات في الدقيقة – وهو متوسط مناسب لهذه الآبار – ١٤.٤٠٠ جالونا في اليوم، وقد رأيت كثيرا من هذه الآبار لا يتجاوز المستخدم منه في اليوم مائة جالونا.

وإذا ما استمر نحر هذه الآبار وضياع مائها، فسيأتي الوقت الذي تبدأ فيه في النضوب بأسرع مما نظن. ومع استمرار انخفاض الضغط في الطبقات الحاملة للماء، ستتوقف المياه عن الارتفاع إلى السطح، وسيتعين سحب الماء منها بالمضخات. وفي ميريلاند تسقط لأمطار بغزارة. أما في الأراضي القاحلة حيث يكون الري ضروريا ولا بد من اعتماد على الآبار، فإن استنفاد المياه الجوفية يكون أخطر كثيرا. فالمياه الجوفية وحدها هي التي تجعل حياة الإنسان ممكنة هناك.

ومن أفضل الطرق العملية لصيانة الماء، وسيلة سهلة للغاية هي استخدامه أكثر من مرة؛ ففي جزيرة "لونج أيلاند" يأتي جزء كبير من المورد المائي عن طريق الآبار. وتستخدم كميات كبيرة منه في عمليات التبريد اللازمة لأجهزة تكييف الهواء. والتأثير الوحيد الناتج عن هذا الاستخدام هو رفع حرارة الماء بضع درجات. إذا أن القانون ينص الآن على إعادة الماء لخارج من هذه الأجهزة إلى الأرض. وهكذا تستخدم المضخات في إعادة أكثر من ٦٠ مليون جالون من الماء يوميا إلى الأرض لتجديد المورد الذي يستمد منه هذا الماء.

وهناك طريقة أخرى مهمة لصيانة الماء، تمنع تلوث المجاري المائية في نفس الوقت، تلك هي معالجة كل مياه الصرف والمجاري المتخلفة عن المدن والبلاد في وحدات خاصة لاستعادة المواد اللازمة لصناعة السماد، وجعل السبب الخارج منها مقبولا. وقد تؤدي هذه الطريقة أيضا إلى استخدام جالون الماء مثني وثلاث.

وقد نجحت مدينة "بلتيمور" في التغلب على مشكلة مائية خطيرة، إذ كان لهذه المدينة وحدة لمعالجة الفضلات تلقي بالفائض منها في نهر قريب، مما أدى إلى احتجاج السكان القاطنين على طول هذا النهر. وكانت شركة "بيت لحم" للصلب، التي تمتلك مصانع على نهر "بتابسكو" Patapsco تعد من أكبر مصانع الصلب في العالم، تستخدم كميات كبيرة من الماء. وكانت مياه ذلك النهر مالحة، وعلى الرغم من أن كمية الماء التي كان يحصل عليها من نهر "بتابسكو" الواسع وخليج "تشيزابيك"

القريب منه كانت غير محدودة، فإنها كانت غير صالحة غير صالحة للاستخدام في كثير من العمليات.

ولا شك أنه كانت توجد كثير من الآبار، ولكن استخدام المضخات على نطاق واسع في المنطقة أدي إلى انخفاض مستوى الماء الجوفي بشكل خطير، كما أن مياه النهر رشحت بالفعل إلى هذه الآبار وأفسدتها، وكانت مصانع الصلب تتوسع بسرعة، وكان لا بد لها من الحصول على مزيد من الماء.

ومنذ عدة سنوات، عقدت المدينة والشركة اتفاقا مد بموجبه خط من الأنابيب لنقل ستين مليونا من الجالونات يوميا من المياه، وملائمة لإخماد حرارة الصلب المصهور، وتبريده، وغير ذلك من الأغراض.

وقد بلغ هذا التدبير درجة من النجاح ستؤدي إلى استخدام كمية أكبر كثيرا من هذا الماء. وعندما نترك الجداول، والبحيرات، ومدخل المياه تتلوث، فإننا نضيع المياه على نطاق واسع، إذ أن هذه الكتل المائية تستطيع، عندما تكون حالية من التلوث، أن تكفل الحياة للأسماك وغيرها من الأحياء المائية التي تتميز بقيمة غذائية عالية. وقد أحالت مياه الفيضانات المليئة بالطمي، ومياه الغسيل والفضلات المتخلفة عن المناجم والمحملة بمركبات الكبريت في كثير من الأحيان، وكثير من النفايات الصناعية، كثيرا من الجداول التي كانت تعج ذات يوم بالحياة إلى بالوعات خاوية ملوثة.

والواقع أن أغلب التلوث الناتج بفعل المخلفات الصناعية والمجاري يمكن تجنبه، وفي بعض الأحيان تؤدي استعادة المنتجات النافعة من هذه المخلفات إلى تعويض الأموال التي أنفقت في هذه الاستعادة وأكثر. وهذه عملية صيانة بحق. وسوف تؤدي إثارة الوعي الكامل لدى الجمهور بضرورة تجنب التلوث إلى إعادة الحياة والجمال إلى كثير من المجاري المائية، فالماء الصافي الخالي من التلوث إنما هو استثمار مفيد للناس دائما.

ونهر الهدسون، الذي كاد أن ينقرض منه الشبوط، وهو سمك له قيمة غذائية كبيرة، مثال بارز لما يمكن عمله، فالشبوط البالغ يعيش في المحيط، ولكن لا بد له أن يصعد إلى الأنهار ليضع بيضه في الماء العذب، وقد أصبحت الأحوال في ميناء نيويورك والجزء السفلي من نهر الهدسون على درجة من الرداءة لا يستطيع معها الشبوط، أو لا يرغب، في التوغل خلال هذه المياه ليصل إلى الأماكن التي يضع فيها بيضة. ولست أعرف ما إذا كان الشبوط يموت عندما يخترق هذه المياه، أو أنه متأفف منها فحسب. على أنه قد بدأ يعود إليها عندما تحسنت الظروف فيها، ورجع صيد الشبوط في نهر الهدسون إلى حالته الأصلية، وهو أمر يطرب له صيادو هذه الأسماك اللذيذة وآكلوها.

والماء شريان الحياة الذي يجري في أرضنا، وهو يتجدد دائما أبدا بواسطة الرياح والسحب، ويدور حول الأرض ثم يعود إلى المحيطات والبحار التي هي مثواه مقره. وما من بلد يستطيع التوصل إلى أعلى درجة

من الرخاء والصحة إذا ما ترك هذه الدورة الواهبة للحياة تستنزف سدى أو تتلوث.

واليوم يبدو أنه لا بد للإنسان أن يواصل سكنه في الأرض وحكمه لها لملايين عديدة من السنين. أما إذا أدت به حماقته إلى التدهور وعدم الصلاحية للبقاء، أو إذا نسف وانقرض، فسوف تقوم المياه بمحو الفجوات والآثار التي خلفها في وجه الأرض، وتستمر كما كانت قبل ظهوره.

إن الماء ليس بحاجة إلى الإنسان، ولكن الإنسان لا يحيا بغير الماء، وإذا ما اختفت جميع أشكال الحياة من على وجه الأرض، فسيظل الماء بوصفة أبرز ظواهر الأرض وأهمها، وأكثرها دواما وستستمر المحيطات والأنهار والثلاجات والأمطار والثلوج في نحت وتهيئة، وتشكيل سطح الكرة الأرضية. وليس هناك بديل آخر للماء بالنسبة إلينا وإلى جميع أشكال الحياة الأخرى. وبوسعنا أن نقول بحق أن كل أنواع اللحم ماء، وأن مصير البشرية مرتبط بالماء برباط لا ينفصم. وطالما كان الإنسان يسكن الأرض، فإن نجاحه وسعادته سيتوقفان، إلى حد كبير، على مدى حكمته ومدى حسن تصرفه في التحكم في الماء واستخدامه له.

مصطلحات

Adaptation	التكيف – التهيؤ
aeration	تهوية
air bladder	كيس هوائي
alfalfa	نبات الفضفضة – البرسيم الحجازي
Algae	الطحالب
amphibiousness	البرمائيات
Angular momentum	الزخم (كمية الحركة) الزاوي
Antarctica	القارة القطبية الجنوبية
Antarctic acean	المحيط القطبي الجنوبي
Archimedean screw	طنبور
Arctic ocea	المحيط القطبي الشمالي
Artery	شريان
Astrolabe	الأسطرلاب (آلة فلكية)
Astrionimes	فلكي

Atoll	جزيرة مرجانية حلقية – أتول (م[١٣٠])
Atom	ذرة
Atomic weight	الوزن الذري
Avalanches	تياهير – جلاميد ثلجية
Backbone	السلسلة الظهرية
Barely	الشعير
Beaver	قندس – كلب البحر
Birch ree	شجرة التامول – البتولا
Bladder	مثانة
Blas furnace	الفرن العالي
Blizzard	عاصفة ثلجية
British themal unit	وحدة حرارية انجليزية
Cactus	نبات الصبار
Capillary attraction	الجاذبية الشعرية
Caries (teeth)	تسوس الأسنان
Cartilage	غضروف

---

(١٣٠) (م) تشير إلى أن اللفظ معرب.

Caspian sea	بحر قزوين
Centipedes	ذوات الأرجل المائة
Chlorophyll	الكلوروفيل (م) – اليخضور
Circulatory system	الجهاز الدوري
Class	الطائفة (في تصنيف الأحياء)
Clepsydra	الساعة المائية
Clouds, cirrus	السحب الوبرية – السمحاق
Clouds, cumulns	السحب الركامية
Clouds, nimbus	السحب المثقلة – المزمنة
Clouds, stratus	السحب الطبقية
Coagulation	التجلط – التخثر – الترويب
Combustion	الاحتراق
Concave	مقعر
Condensation	التكاثف
Contraction	مكثف
Convection currents	التقلص
Convex	التيارات الناقلة أو الموصلة للحرارة

Corals	محدب
Crab	الشعاب المرجانية
Crescsnt	السرطان البحري
Critical pressurs	هلال
Critical temperature	الضغط الحرج
Crustaceans	الحرارة الحرجة
Crystallization	الحيوانات القشرية – القشريات
Cuttlefish	التبلور – البلورة
Dam	الحبار – السيبيا
Demiquescent	سد مائي
Dew point	متميع نقطة الندى
Diabetes	مرض السكر – البول السكري
Diatom	دياتوم
Diatomcesous ooze	رواسب أو مخلفات دياتومية
Differcntial equations	المعادلات التفاضلية
Diurnal	نهاري
Ductless gland	الغدد الصم

Dynamic energy	الطاقة الحركة
Dynamo	المولد الكهربي – الدينامو (م)
Ebb tide	الجزر
Ecninoderms	الجلدشوكيات
occultation	الخسوف (للقمر) والكسوف (للشمس)
Eel	الأنكليس – ثعبان السمك
Electric potential	الجهد الكهربي
Elm tree	شجرة الدردار
Elver	صغير الأنكليس – الألور (م)
Enamel （tooth）	عاج أو ميناء الأسنان
Energy	طاقة
Environment	البيئة – الوسط
Equinox	الاعتدال – الاستواء
Erosion	التآكل – التعرية
Estuary （of river）	مصب النهر
Fermentation	التخمر
Fiord	الزقاق أو اللسان البحري – الفيورد (م)

Fir tree	شجرة التنوب – الشربين
Foraminifera	المثقبات – المنخريات
Fossil	أحفورة
Frost	صقيع
Gale	عاصفة
Germ	جرثومة
Glacier	ثلاجة– نهر ثلجي
Gulf stream	تيار الخليج
Hail	برد
Hailstone	حبة البرد
Hailstorm	عاصفة البرد
Hexagonal	سداسي الشكل
Host （biology）	العائل
Humidity,	الرطوبة
Humidity, absolute	الرطوبة المطلقة
Humidity, relattve	الرطوبة النسبية
Hummin bird	الطائر الطنان

Humus	الدبال – الثري
Hurricane	إعصار
Hyacinth	العيسلان (نبات زنبقي)
Iceberg	جبل جليدي
Icecap	الغطاء أو القلنسوة القطبية
Igneous rocks	الصخور النارية
Impervous	غير منفذ – غير مسامي
Induction (electricity)	الحث الكهربي
Infusoria	النقعيات – النقاعيات
Inorganic	غير عضوي
Internel – combustion engine	محرك احتراق داخلي
Interstellar	ما بين النجوم
Irrigation	الري
Isotopes	النظائر
Jellyfish	قناديل البحر – الأسماك الهلامية
Jet propulsion	الدفع النفاث
Kelp	الأعشاب البحرية المحروقة

Lamp shells	الأصداف المسرجة
Larvae	يرقات
Latent heat	الحرارة الكامنة
Latent heat of evaporation	حرارة التبخر الكامنة
Latent heat of fusion	حرارة الانصهار الكامنة
Latitude	خط العرض
Lava	الحمم البركانية
Lichens	الأشن
Limestone	الحجر الجيري
Linseed oil	زيت بذر الكتان
Lobster	الأربيان
Lunar	قمري – متعلق بالقمر
Mammals	الثدييات
Mars	المريخ
Melting temperature	درجة الأنصهار
Membrane	غشاء
Mercury	الزئبق

Mermaid	عروسة البحر – المرمادة (م)
Merman	عريس البحر – المرمان (م)
Mint	نعناع
Mistletoe	مبات الدبق أو الدابوق
Mold	العفن
Monsoon winds	الرياح الموسمية
Mo aine	الركام الثلجي
Mosses	الحزازيات (نبات)
Neap	المحاق
Nervous system	الجهاز العصبي
Nucleus	النواة
Oats	الشوفان
Oscillorgraph	جهاز رسم الذبذبات
Osmosis	التناضح – الارتشاح الغشائي – الأزموزية (م)
oxidation	الأكسدة
Oyster	محارة
Paddle wheel	عجلة تجديف

Parasite	طفيلي
Peneplain	السهل المجرود – السهب
Penguin	طائر البطريق
Perspiration	العرق
Phyla	الشعب (في تصنيف الأحياء)
Planet	كوكب – سيار
Polar	قطبي
Pollen	حبوب اللقاح
Protoplasm	الجبلة – البروتوبلازم (م)
Protuberance	نتوء – بروز
Radioactive	مشع – ذو نشاط اشعاعي
Radiolarian	الشعاعيات
Raft	رمث – عائمة
Reducation	اختزال
Redwood tree	شجرة الراوود (م)
Reinforced concrete	خرسانة مسلحة
Renaissance	عصر النهضة

Reservoir	خزان
Rotatoria	الحيوانات الدوارة – الدوارات
Sage – bush	نبات المريمية – السجبروش (م)
Salinity	الملحية – درجة الملوحة
Sandstone	حجر رملي
Satellite	قمر أو تابع لكوكب
Saturation	التشبع
Scurvy	مرض الأسقربوط
Sea anemones	شقائق البحر
Sedimentary	الضخور الرسوبية
Sedimentation	الترسيب
Samidesert	شبة صحرواي
Sextant	سدسية – آلة قياس الزوايا
Shad	سمك الشبوط
Shales	حجر طيني – طفل
Shellfish	المحار – الحيوانات الرخوة أو الصدفية
Ship.bark	البرك (م) – مركب ذي ثلاثة أو أربعة أشرعة.

Ship, clipper	القلبر (م)
Ship, frigate	الفرقاطة
Ship, galleon	الغليون
Ship, galley	القادس
Ship, junk	الينك (م) – سفينة صينية
Ship, kayak	الكياك (م) – زورق الأسكيمو الجليدي
Ship, outrigger\	مركب ذي أشرعة ناتئة
Ship, pentareme	النزيم (م) – سفينة خماسية المجاديف
Ship, quadreme	الكدريم (م) – سفينة رباعية المجاديف
Ship, trireme	الطريم (م) – سفينة ثلاثية المجاديف
Shrimp	جراد البحر – الجمبري
Sirius	نجم الشعري
Slate	اردواز
Solar spectrum	الطيف الشمسي
Solurtion	محلول
Solvent	مذيب
Sprecies	الأنواع (في تصنيف الأحياء)

Specific heat	الحرارة النوعية
Spores	أبواغ
Stagnation	ركود
Steam pump	مضخة بخارية
Strate	طبقات
Subterranean	تحت الأرض
Suction pump	المضخة الماصة – الطلمبة
Sudd	نباتات السدود
Superheated	مفرط السخونة
Supersaturated	مفرط التشبع
Surface tension	التوتر السطحي
Suspension	معلق
Temperate zones	المناطق المعتدلة
Terra cetta	الطين النضيج
Thundetsrorm	عاصفة رعدية
Tributary	رافد
Trpical diseases	أمراض المناطق الحارة

Tuer	درنة
Typhoon	إعصار حلزوني – تيفون (م)
Vaporizing temperature	درجة حرارة التبخر
Venus	كوكب الزهرة
vortex	دوامة – دردور
Warm blooded animals	الحيوانات الثابتة الحرارة – ذات الدم الحار
Water, hard	الماء العسر
Water, heavy	الماء الثقيل
Water, soda	ماء الصودا
Water, soft	الماء اليسر
Water table	منسوب الماء الأرضي أو الجوفي
Water wheel	عجلة رفع الماء – الساقية.

الفهرس

تقديم ٥

عن المؤلف والكتاب ١٣

الباب الأول : الماء والعالم

الفصل الأول : ما هو الماء؟ ١٦

الفصل الثاني : الحالات الثلاث ٣٤

الفصل الثالث: كيف كان الماء في البداية ٥٨

الفصل الرابع: المحيطات ٧٢

الفصل الخامس: الملطف والموزع الأكبر ٩٨

الفصل السادس: الماء في الهواء ١١٥

الفصل السابع: المياه الداخلية ١٤٥

الفصل الثامن: الماء الصلب فوق اليابسة ١٦٩

الفصل التاسع: الأحياء المائية ١٨٨

الباب الثاني : الماء وحياة الإنسان

الفصل الأول: استخدام الإنسان البدائي والقديم للماء ٢١٧

الفصل الثاني: الصراع من أجل السيطرة على البحار ٢٤٤

الفصل الثالث: المضخات والسفن، واستخدام الإنسان للبخار ٢٦٦

الفصل الرابع : الري، وضبط الفيضان، والطاقة المائية ٢٩٣

الفصل الخامس: الماء الذي نشربه ٣٢٥

الفصل السادس: معلومات متفرقة : عبادة الماء والآبار وبرك الندى والتنقيب عن الماء ٣٤٩

الفصل السابع : القنوات ٣٦٢

الفصل الثامن: صيانة الماء.. صيانة للحياة ٣٨٠

مصطلحات ٤٠٢