THE PRIVILEGED SPECIES SERIES

THE WONDER OF WATER

by Michael Denton

DALAIL
مركز دلائل
DALA'IL CENTRE
مكتبة 1014

عجائب الماء

ملاءمة الماء المثالية للحياة على الأرض وللبشر

مايكل دنتون

ترجمة : فداء ياسر الجندي

مكتبة | سُر مَن قرأ
t.me/t_pdf

عجائب الماء

ⓒ دار وقف دلائل للنشر، ١٤٤٢هـ - ٢٠٢١م

عجائب الماء
مايكل دنتون ترجمة : فداء ياسر الجندي مكتبة
٢٣٢ ص، ١٧ × ٢٤ سم IOI4
ترقيم دولي : ٨ - ٨ - ٨٥٦٩٩ - ٩٧٧ - ٩٧٨

حقوق الطبع محفوظة

الطبعة الأولى
١٤٤٢هـ - ٢٠٢١م

مضمون الكتاب يعبر عن رأي مؤلفه
ولا يعبر بالضرورة عن رأي المركز

مركز دلائل
DALA'IL CENTRE

Dalailcentre@gmail.com

الرياض - المملكة العربية السعودية
ص ب: ٩٩٧٧٤ الرمز البريدي ١١٦٢٥
Dalailcentre@
+٩٦٦٥٣٩١٥٠٣٤٠

دار تشويق للنشر والتوزيع
مصر - ٢٠١٠٦٨٤٣١٧٧٠+
DarTashweek@gmail.com

عجائب الماء

ملاءمة الماء المثالية للحياة على الأرض وللبشر

مايكل دنتون

مكتبة | سُر مَن قرأ
t.me/t_pdf

ترجمة :

فداء ياسر الجندي

The Wonder of Water **عجائب الماء**

Michael Denton **مايكل دنتون**

ترجمة : فداء ياسر الجندي

ISBN : 978 – 193 – 65994 – 7 - 9

الترقيم الدولي للنسخة المترجمة : ٨ – ٨ – ٨٥٦٩٩ – ٩٧٧ – ٩٧٨

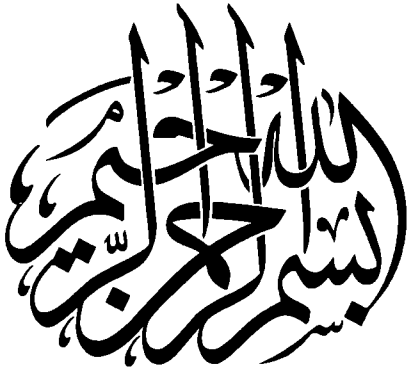
يمنع نسخ أو استعمال أي جزء من هذا الكتاب بأية وسيلة تصويرية أو إلكترونية أو ميكانيكية، ويشمل ذلك التصوير الفوتوغرافي والتسجيل على أشرطة أو أقراص مضغوطة أو استخدام أي وسيلة نشر أخرى، بما في ذلك حفظ المعلومات واسترجاعها، دون إذن خطي من الناشر.

Arabic Language Translation Copyright © 2021 for **Dalail Centre**

The Wonder of Water by Michael Denton

First published in the United States by Discovery Institute Press, 2017
No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder.

مكتبة
t.me/t_pdf


بسم الله الرحمن الرحيم

تصدير

بين يدينا كتابٌ عظيم، يستمد عظمته من عظمة موضوعه وما يتعلق به من هذا المخلوق الفريد من مخلوقات الله عز وجل، ألا وهو (الماء).

لن نتحدث عن عظمة صفاته التي ستطالعونها فصلاً من بعد فصل بين دفتيّ هذا الكتاب، فهي لن تحتاج إلى تعليق، ولكننا نلفت النظر إلى ما أراد المؤلف (مايكل دنتون) إبرازه من دلالة كل هذا الضبط المعجز لخصائص الماء على أنه موجود لغاية وهدف وليس مجرد صدفة وعشوائية في الكون.

وهذا المسلك ليس بجديد على هذا العالم (مواليد ١٩٤٣م) ولا عن تطويعه لحسه العلمي كونه أستاذاً مرموقاً في الكيمياء الحيوية، فله كتب شهيرة بارزة في هذا المجال، لعل أشهرها والذي صنع ضجة كبيرة منذ ظهوره في مجال الرد على نظرية التطور االداروينى والانتخاب الطبيعي والطفرات العشوائية كتاب (التطور نظرية في أزمة) عام ١٩٨٥م، والذي كان أحد إلهامات حركة (التصميم الذكي) ومعهد ديسكفري الذي انتمى إليه المؤلف فيما بعد. وأيضا كتاب (قَدَر الطبيعة) عام ١٩٩٨م، والذي أظهر فيه العديد من دلائل الغائية في الكون والحياة، ثم رده على انتقادات كتابه الأول بكتاب آخر بعنوان (التطور لا زال نظرية في أزمة) عام ٢٠١٦م.

أما بالنسبة للترجمة، فالجهد مشكور للمهندس فداء على تبسيطه للمعلومات العلمية بطريقة سلسة تناسب الجميع، وقد قام من أجل ذلك بالتصرف في الترجمة في بعض مواضع الكتاب، مثل استبعاد بعض المعادلات الكيميائية والتفاصيل العلمية الدقيقة، كما تم الاكتفاء في التوثيق والمراجع على بعض الاقتباسات والمعلومات الهامة.

مركز دلائل

المحتويات

مقدمة المترجم ١١

مقدمة المؤلف ١٣

الفصل الأول : الدورة المائية الأرضية ١٩

الفصل الثاني : تجديد سطح الأرض ٤٩

الفصل الثالث : المحافظة على المحيطات ٨٣

الفصل الرابع : آلة المناخ ١١٧

الفصل الخامس : الماء والأشجار والضوء ١٤٣

الفصل السادس : الماء وفيزيولوجيا الإنسان ١٦٥

الفصل السابع : الماء والخلية الحية ١٩٥

الفصل الثامن : خاتمة ٢١٧

مكتبة
t.me/t_pdf

مقدمة المترجم

الحمد لله، والصلاة والسلام على رسول الله، أما بعد ...

فإن الأمانة في الترجمة تقتضي الحفاظ على عنوان الكتاب كما وضعه المؤلف، وهو (عجائب الماء)، ولولا ذلك لوضعت للكتاب عنواناً آخر هو قوله تعالى: ﴿وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ﴾ (الأنبياء: ٣٠)، ذلك لأن محتويات الكتاب تدور كلها في فلك تلك الجملة المعجزة من القرآن الكريم، بل تكاد محتويات الكتاب تكون بمثابة تفسير علمي لها.

فقد بيَّن المؤلف بالأدلة العلمية القاطعة أن أهمية الماء للحياة ليست فقط في أنه يدخل في تكوين الكائنات الحية، وأن الأحياء ما لم تسق الماء فمصيرها الموت، بل لأن هذا السائل الرائع الخارق - كما يشرح المؤلف بالتفصيل - مناسب للحياة على الأرض بعدد مذهل من الطرق، كلها ضرورية لقيام الحياة، وما كانت الحياة لتقوم على الأرض لو غاب أي منها، وهي طرق تبدأ من دور الماء في تكوين الكواكب - ومنها كوكب الأرض - ولا تنتهي بالدور الذي يقوم به الماء في كل تفاعل من التفاعلات الحيوية داخل الخلايا الحية.

ويشرح المؤلف استناداً إلى أحدث الأبحاث العلمية الموثقة، أن كلاً من الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء، من لزوجة وكثافة وتوتر سطحي وخاصة شعرية ودرجة تجمد ودرجة غليان وروابط ذرية داخلية وغيرها من الخصائص، مضبوطة بطريقة دقيقة مبهرة معجزة، لا يضاهيها في قيمها الدقيقة المناسبة للأدوار التي تقوم بها أي عنصر أو مركب آخر في الطبيعة، وأن هذه الخصائص تعمل بتناغم وتعاون وكأنها فريق متفاهم يتواصل أعضاؤه

بعضهم مع بعض ليحققوا أهدافهم المرسومة.

سيأخذك هذا الكتاب عزيزي القارئ في رحلات ممتعة، تمتد في المكان من النجوم والكواكب، إلى أعماق البحار والمحيطات، ومن رؤوس الجبال والمرتفعات، إلى السهول والوديان والشلالات، ومن الأشجار والنباتات، إلى داخل جسم الإنسان، إلى غير ذلك من الأماكن والمواقع، وفي كل رحلة وموقع يشرح لنا ما تقوم به خصائص الماء الفريدة العجيبة من أدوار لولاها لما كانت هناك حياة، ليخلُص بعد كل رحلة إلى نتيجة قاطعة، وهي أن ما يقوم به الماء من المستحيل أن يكون خبط عشواء، وأنه لا يد من وجود تصميم حكيم وراء الأدوار العجيبة المعجزة التي يؤديها الماء بخصائصه وميزاته الفريدة من أجل أن تقوم الحياة وتستمر.

ويلخص المؤلف ذلك في خاتمة الكتاب بقوله :"**أنىٰ نظرت تجد سحر الماء الواهب للحياة، سواء نظرت في السماء والكواكب والمجرات، أو نظرت في الأرض والتراب والذرات**".

ويضيف: "**ببساطة واختصار، لا يوجد في كل ما نعرفه من قصص وحكايا العلوم شبيه لحكاية الماء، إن وجود هذا العدد الهائل من الصفات الملائمة للحياة في ذاك الجزيء الصغير (المؤلف من ذرة أوكسيجين وذرتي هيدروجين) هو أمر لا يدانيه أي تصور في أكثر قصص الخيال العلمي غرابةً وخيالاً، فعند التأمل في هذه الميزات الفائقة للماء، وفي طريقة عملها المتضامنة المتسلسلة، يتضح بجلاء أن الماء وراءه تصميم خارق مذهل، لا يمكن لأي تصميم بشري أن يقترب من إبداعه**". فسبحان الخلاق العليم.

م. فداء ياسر الجندي

مقدمة المؤلف

مكتبة
t.me/t_pdf

وقفة أمام منظر شلال بديع

ما أجمل الصيف في (يوسمايت)[١]، والوقوف أمام شلالات (بريدالفيل)[٢]، حيث رذاذ الشلال يداعب وجهك بلطف، وماء الشلال يستقبل أشعة الشمس ويحولها إلى ألوان قوس قزح، وإذا بنا أمام مشهد مذهل في هذا الوادي الجميل.

صورة لشلالات بريدالفيل

---

(١) يوسيمايت Yosemite هي حديقة جميلة تتميز بشلالاتها وأشجارها العملاقة، وتقع في ولاية كاليفورنيا الأمريكية.

(٢) شلالات بريدالفيل Bridalveil Fall هي شلالات شهيرة تقع في حديقة يوسمايت.

تبهرك السمفونية الحسية للمشهد. صوت الماء المتساقط ورائحة الصنوبريات الحلوة ورائحة الصيف في الهواء، والشعور بأشعة الشمس على بشرتك، والبهجة البصرية المطلقة بجمال البيئة المحيطة، والمنحدرات الجبلية المنحوتة والخضراء لقاع الوادي، هو شعور بالفتنة أمام التناغم الصامت لهذا المشهد البديع.

نحن مفتونون في تخيل صامت للتناغم المذهل للمشهد.

غير أن هذا المشهد الجميل العجيب، يخفي وراءه إعجازاً وأعاجيب لا تقل جمالاً وإدهاشاً عن جمال المنظر الطبيعي الذي نراه، وإن كانت غير معروفة لغالبية الناس المنبهرين بجمال المنظر الطبيعي، ولولا تلك الأعاجيب المعجزة المدهشة لما كنا موجودين لنقف أمام هذا الشلال نتأمل جماله الخلاب.

إن المياه المتدفقة من هذا الشلال ومن عدد لا يحصى من الشلالات في العالم تقوم منذ مليارات السنين - وبواسطة مجموعة من خصائص الماء المتميزة الفريدة - بحتّ وتعرية الصخور، فتلعب من خلال هذه العلمية دوراً جوهرياً في تأمين العناصر الحيوية اللازمة لقيام الحياة البرية على سطح الأرض، ولولا هذه المياه المتدفقة في جمال ساحر يأخذ بالألباب لما كان هناك خصوبة في تربة الأرض، ولكانت الأرض مجرد مساحات قاحلة.

وبينما نتأمل جمال المنظر، هناك سحر آخر للماء يعمل داخل أجسامنا، فهذا السائل السحري الذي يَهَبُ للأرض خصوبتها عن طريق تآكل الصخور ونقل معادنها للأرض، هو نفسه الذي يوفر لنا ولكل الكائنات ذوات الدم الحار وسطاً ملائما لدورتنا الدموية بواسطة مجموعة أخرى مختلفة من خصائصه الفريدة، فمع كل نبضة من ضربات القلب، يحمل الماء

الأوكسجين إلى أنسجتنا، ويحمل أيضاً العديد من تلك العناصر الغذائية نفسها التي تسربت من الصخور في الخريف، وينقل أيضًا نفايات التنفس - ثاني أكسيد الكربون - إلى الرئتين، وفضلات أخرى إلى الكلى، والحرارة الزائدة إلى الجلد، حيث يتم طرحها من الجسم.

إن الأرض تعتمد على تلك المياه المتدفقة الجميلة للحصول على المعادن النابضة بالحياة التي تستمدها من الصخور، فتصبح قابلة لحياة النباتات، وبالتالي لحياة بقية الكائنات الحية، والحياة في أجسامنا تعتمد بالقدر نفسه على المياه المتدفقة عبر الشرايين التي تحمل العديد من هذه العناصر نفسها حول الجسم، هذا الاعتماد المزدوج، يجعلنا وجهاً لوجه مع اكتشاف غير عادي في مجال العلوم.

هناك مادة واحدة، هي الماء، مناسبة بشكل فريد مدهش لخدمة وظيفتين حيويتين مختلفتين تماماً، واختلافهما لا يمكن تصوره: تآكل الصخور والدورة الدموية.

كلا الأمرين أساسي للغاية لوجودنا، بل ما كنا لنوجد لولاهما، ولا توجد مادة أخرى في الطبيعة تقترب من امتلاك مجموعة الخصائص الأساسية اللازمة للقيام بهاتين الوظيفتين معاً.

لو لم يقم الماء إلا بهاتين الوظيفتين لكفاه ذلك إعجازاً وعجباً، ولكننا سنرى في فصول هذا الكتاب أن هاتين الوظيفتين غيض من فيض، وأن خصائص الماء الفريدة تساهم في وظائف أخرى ما كانت الحياة لتقوم بدونها، منها تكوين الأرض نفسها قبل مليارات السنين، وتكوين المحيطات والمحافظة عليها، والتحكم بالمناخ على سطح الأرض وضبطه ليكون مناسباً لقيام الحياة، والدورة المائية من البحار للسحب للأمطار للأرض ثم للبحار

من جديد، والدورة التكتونية (سيأتي شرحها في فصول الكتاب)، وتشكيل القارات، والتمثيل الضوئي.

والخصائص الفريدة للماء ضرورية أيضاً لصنع التربة الزراعية وتخصيبها، ولتبريد جسم الإنسان وضبط حرارته، ولتكوين البروتينات في الجسم، ولتشكيل أغشية الخلايا الحية.

وسنرى في هذا الكتاب من عجائب الماء الكثير، سنرى أن خصائصه الفريدة تعمل في مجالات مكانية وزمانية، تتراوح بين آلاف الكيلومترات وملايين السنين، نزولاً إلى النانو متر والفيمتو ثانية.

الغرض من هذا الكتاب هو سرد القصة غير المروية عن مجموعات مدهشة مذهلة الخصائص الفريدة والمتنوعة للماء، خصائص لا غنى عنها لكل أشكال الحياة على الأرض، وسنرى في الفصول القادمة أن هذه الخصائص العديدة تكشف عن وحدة مركزية حيوية فائقة في نسيج الطبيعة، وأن الحياة على الأرض - بما في ذلك الجنس البشري - ليست مجرد صدفة كونية.

إن الماء يُغنّي بسحره وعجائبه أنشودة عالمية للحياة على سطح الأرض، ويُغنّي أنشودة أخرى خاصة للإنسان بميزاته الملائمة لعلم وظائف الأعضاء البشرية.

تخبرنا خصائص الماء أننا نحتل مكاناً مركزياً في هذا الكون، وأن مخطط الحياة كان موجودًا في خصائص المادة منذ لحظة الخلق.

قد لا نكون موجودين في مركز الكون من ناحية المكان، ولكننا بالتأكيد في مكانة تجعلنا غاية مركزية من غايات وجود الكون.

لقد قلبت خصائص الماء مبدأ (كوبرنيكوس) رأساً على عقب، ذلك المبدأ الذي يقول: (إن البشر على الأرض وفي النظام الشمسي ليسوا في مكانة متميزة من الكون).

مايكل دنتون

الفصل الأول

الدورة المائية الأرضية
سر الحياة على كوكبنا

على الرغم من أن الماء يعتبر من أكثر المواد المألوفة لدينا، ولكن طبيعته العجيبة ما تفتأ تبهرنا باستمرار لأسباب كثيرة، فالماء وصفاته المدهشة وآثاره في الطبيعة موجود حولنا أنّىٰ التفتنا.

نراه في قوامِه السائل على سطح الأرض، من المحيطات الشاسعة إلى البحيرات الصغيرة والبرك المنزلية، ونرى حركته التي تتراوح بين تدفقه الهائل السريع في الأمواج الهادرة، وجريانه اللطيف البطيء في الأنهار العابرة، نرى كيف تُحركه الريحُ العاصفةُ في هاواي فتجعل منه أمواجاً عاتية، وكيف يتلاعب به النسيمُ اللطيفُ في البرك المنزلية فيجعل سطحه غضاً متعرجاً، نراه في البخار الذي يتصاعد فيشكّل السحاب، وفي قطرات الماء التي تنهمر مطراً من ذاك السحاب.

أما بقوامه الصلب، فنراه ثلجاً يهطل في الشتاء، فيشكّل زخارف جميلة على نوافذنا، ونراه في الأنهار الجليدية في المناطق الجبلية، ونرى كيف يُشكّل الماء المشهد الطبيعي بشكل كامل في المناطق القطبية: القمم الجليدية على أطراف القارتين القطبيتين، والجبال الجليدية العائمة في بحار الشمال والجنوب الباردة، والشظايا الناتجة عن رذاذ الأمواج، عندما تهب عليها رياح ذات حرارة لا تزيد عن الصفر.

ولا يقل تنوع الأصوات التي يسببها الماء عن تنوع الأشكال التي يتشكل

فيها، من إيقاع يشبه القصف تصدره الأمواج العاتية، إلى هدير يصمّ الآذان تنشره الشلالات الهادرة، إلى خرير الجداول المنسابة من الجبال، إلى قرقرة سقوط حبات المطر الغزير على الأرض، إلى قعقعة سقوط حبات البَرَد على سطوح المنازل، إلى الدوي المنبعث من انزلاق الأنهار الجليدية، إلى الهدير الناتج من الانهيارات الثلجية.

فهل يوجد في الطبيعة أي مادة يمكنها أن تقدم ولو جزءًا بسيطاً من هذا التنوع المبهر في الأشكال والأحوال والأصوات؟ قطعاً لا.

مكتبة
t.me/t_pdf

المادة ذات الأطوار الثلاثة

التنوع الفريد لأطوار الماء، ما بين الشلالات الهادرة إلى حبات الثلج، سببه الخواص المدهشة الفريدة لهذه المادة العجيبة: فالماء هو المادة الوحيدة التي يمكن أن توجد على شكل صلب أو سائل أو بخار في بيئة الكرة الأرضية، في حين أن جميع العناصر الأخرى الموجودة على الأرض - بما فيها فلزات الصخور والغازات المكونة للغلاف الجوي - لا توجد إلا في حالة واحدة: صلبة أو سائلة أو غازية، وكما يقول فيليب بول: "**جميع العناصر غير المائية في الطبيعة تقريباً لا توجد إلا في حالة واحدة، الأوكسجين والنيتروجين وغيرها من الغازات الموجودة في الهواء لا تتصلب، والصخور والرمال والأتربة لا تذوب أو تتبخر**".[١]

---

(١) Philip Ball, H_2O: A Biography of Water (London: Weidenfeld and Nicolson, 1999), 26. [Note: In this quoted passage, as in most quoted passages throughout this book, internal references have been removed].

صورة لحالات الماء الثلاث، يظهر فيها المحيط (ماء سائل)، وجبل جليدي (ماء متصلب). والسحاب (ماء غازي – وتحوي السحب قطرات ماء متكثفة من بخار الماء).

المكان الوحيد الذي يمكن أن نجد فيه عناصر أخرى غير الماء بقوام مختلف هو الأعماق السحيقة من باطن الأرض، فالصخور قد تنصهر وتتحول إلى قوام سائل في تلك الأعماق، حيث الحرارة والضغط مختلفان بشكل هائل عن الحرارة والضغط على سطح القشرة الأرضية، كما أن بعض العناصر الغازية قد توجد بشكل سائل أو صلب في بعض الظروف الاستثنائية في طبقات ما تحت القشرة الأرضية أو في نواة الكرة الأرضية. وكما هو معلوم فإن نواة الكرة الأرضية تتألف جزئيا من حديد منصهر، ولكن المؤكد أن الماء هو العنصر الوحيد الذي يمكن أن يوجد في أطوار المادة الثلاث: الغاز والسائل والصلب، في مجال الحرارة والضغط الموجود على سطح الكرة الأرضية.

يتمتع الماء بوزن ذري منخفض مقداره ١٨، ولكن عند مقارنته بالمواد التي لها وزن ذري مقارب في قيمته، نجد أن درجة تجمده وغليانه أعلى بكثير من درجات تجمد وغليان تلك المواد، فعلى سبيل المثال:

المركبات الغازية التالية تكون على شكل غازات في درجات الحرارة المتوفرة على سطح الكرة الأرضية، ولا يتجمد أي منها في درجة صفر مئوية:

اسم المركب	الرمز الكيميائي	الوزن الذري
ثاني أوكسيد الكربون	CO_2	٤٤
الأوكسيجين	O_2	٣٢
أول أوكسيد الكربون	CO	٢٨
النيتروجين	N_2	٢٨
الميثان	CH_4	١٦
النشادر	NH_3	١٧

ولو أخذنا غاز النشادر، ووزنه الذري هو الأقرب إلى الماء، لوجدنا أن درجة تجمده هي -٧٨ مئوية مقارنة مع درجة صفر مئوية للماء، ودرجة غليانه وتحوله إلى غاز هي -٣٣ مئوية مقارنة مع ١٠٠ درجة مئوية للماء.

يقول العالم "ألبرت ز. جورجي" معبراً عن اندهاشه الكبير من سلوك الماء الشاذ عن كل المواد:

"السلوك المدهش للماء يدل عليه قيمتان ثابتتان تُستخدمان عادةً

لتمييز الخواص الفيزيائية، وهما درجة الغليان ودرجة التجمد، وحسب الوزن الذري للماء، وبمقارنته مع غيره من المركبات، فإن المتوقع أن تكون درجة تجمده – ١٠٠ مئوية، ودرجة غليانه صفر مئوية، فماذا نستنتج من ذلك؟ نستنتج أن ذرات الماء لديها ميل شديد لتبقى ملتصقة بعضها ببعض، وعند تحول الماء من سائل لصلب، يستطيع بسهولة أن يفلق الصخر، ولا يلزم لذلك إلا أن نخفض درجته درجة واحدة فهرنهايت فقط، أي من ٢٧٣ إلى ٢٧٢ فهرنهايت، ولذلك يبنون به في الأسكيمو بيوتهم".[١]

إن الارتفاع المدهش والشاذ لدرجة غليان وتجمد الماء مقارنة بغيره، نتج من خاصية يتفرد بها الماء عن غيره من المواد المعروفة في الطبيعة، وهي أن ذرات الماء المستقلة تشكل مع بعضها شبكة هيدروجينية شديدة التماسك، وهو ما يؤدي إلى ما يسميه العالم جورجي قابلية التصاق ذرات الماء بعضها ببعض. وفي الفصل السابع من هذا الكتاب سنتناول هذه الشبكة الهيدروجينية بمزيد من التفصيل.

الدورة العظمى

إن تلك الخاصية الفريدة التي يتمتع بها الماء، ونعني بها توفره في بيئة الأرض المناخية بأحواله الثلاث: الصلبة والسائلة والغازية، تمنحه أهمية عظمى للحياة البرية لا يجاريه فيها أي مادة أخرى في الطبيعة، لأن هذه الميزة الفريدة تجعل الماء هو المادة الوحيدة المؤهلة لتقوم بواحدة من أهم الدورات الحيوية

---

(١) Albert Szent-Györgyi, The Living State: With Observations on Cancer (New York; London: Academic Press,1972), 9.

على سطح الأرض، تلك هي الدورة المائية، التي من دونها لا يمكن أن تكون حياة برية على سطح الأرض.

وفي ذلك يقول فيليب بول: "**إن وجود الدورة المائية ليس إلا نتيجة للقابلية الفريدة التي يتمتع بها الماء في التواجد ضمن الظروف البيئية الطبيعية على الأرض بأحواله الثلاث: الصلبة والسائلة والغازية**".[١]

ونضيف: لا يوجد أي مادة أو عنصر أو مركب في الطبيعة لديه القابلية ليكون مناسباً للقيام بهذه الدورة اللازمة للحياة البرية.

كلنا تعلمنا في المدرسة شيئاً عن هذه الدورة، تعلمنا أن الماء يتبخر من البحار ثم يرتفع إلى طبقات الجو العليا الباردة، فيتكّثف مكوناً السحب، ثم يتكثف بخار السحب مكوناً حبات المطر أو الثلج، بعض الثلج يبقى متجمداً ويشكل الأنهار الجليدية في المناطق المرتفعة، أما الماء والثلج الذائب فيكون مآلهما النهائي بشكل أو بآخر إلى الأنهار، التي تعيد الماء إلى البحار والمحيطات، لتبدأ الدورة من جديد.

قد يبدو الأمر لنا بسيطاً ولكن في الحقيقة فإن ضخامة هذا الحدث عظيمة، يقول فيليب بول: "**لو حسبنا حجم الماء الذي يمر بهذه الدورة سنويا، لوجدنا أن الشمس تعمل على تبخير ما يعادل سماكة متر كامل من المياه من سطح البحار والمحيطات سنوياً، أي ما يعادل حجماً مقداره ٨٧٥ مليون متر مكعب يومياً، وبحسبة بسيطة نجد أن ما يتم نقله خلال ٣١٠٠ سنة يعادل الحجم الكامل لجميع المحيطات والبحار الموجودة على الكرة الأرضية**".[٢]

---

(١) Philip Ball, H_2O , 26.

(٢) Ibid., 23–25.

مخطط مبسط للدورة المائية
البراكين
الغلاف الجوي
تكثف البخار وتكوين السحب
الثلج والجليد
هطول الأمطار والثلوج
التبخر الناتج عن أوراق النبات
تبخر مياه المحيطات
ضباب
جريان سطحي
انزلاق الأنهار الجليدية
جريان الوديان
نفاذ الماء إلى التربة
تبخر ماء البحيرة
تسرب مائي
نبع ماء
النباتات والأحياء
نتح البخار من النبات
بحيرة ماء عذب
المحيط
تخزين المياه الجوفية

أليس من العجيب أن دورة بهذه الضخامة تحدث أمام أعيننا ويندر أن نلاحظ ضخامتها؟ وكما يقول فيليب بول: "**إن هذه الدورة تتم بشكل طبيعي جداً لدرجة أننا لا نفكر إطلاقاً لماذا لا يقوم أي عنصر آخر في الطبيعة بعملية النقل الضخمة هذه**".[1]

إن القدرة الفريدة للماء على التواجد بالحالات الثلاث، الصلبة والسائلة والغازية في البيئة الأرضية، شرط أساسي لتمكن الماء من القيام بهذه الدورة المائية الضخمة، ولكنه ليس كافياً وحده، بل هناك ميزات فريدة أخرى يتمتع بها الماء دون غيره من المواد لا بد أيضا من توافرها لحدوث هذه الدورة، إن هذه الدورة ما كان لها أن تستمر بشكل ثابت على مدى آلاف الملايين من السنين لولا أن حرارة الكرة الأرضية وحرارة الماء تمت المحافظة عليهما في حدودهما المعروفة اليوم بواسطة آليات مدهشة، يعتمد أكثرها على خواص أخرى فريدة للماء سنتناولها بالبحث في الفصل الثالث من هذا الكتاب.

بالإضافة إلى ما سبق، هناك عاملان آخران لهما دور في المحافظة على استمرار الدورة المائية، الأول هو اللزوجة المنخفضة للماء مقارنة مع غيره من السوائل، والثانية، هي سهولة انتقال الماء كسائل مقارنة مع غيره من السوائل، وكذلك سهولة انتقال الجليد مقارنة مع غيره من المواد الصلبة.

تتباين لزوجة السوائل وصلابة المواد الصلبة تباينا كبيرا، ولو كانت لزوجة الماء وصلابة الجليد أكبر مما هي عليه في الطبيعة، لوجدنا المناطق المرتفعة من الأرض مغطاة بطبقات من الجليد ثابتة لا تتحرك ولا تنزلق لتشكل الأنهار الجليدية، ولوجدنا كثيراً من اليابسة مغطاة بطبقات شاسعة من الماء شديد اللزوجة، ولتوقفت الدورة المائية. أي إن الدورة المائية ليست ناتجة عن ميزة

---

(١) Ibid., 26.

واحدة من مزايا الماء الفريدة، بل عن تضافر مزايا وخصائص عدة تعمل معاً يداً بيد على تشغيل هذه الدورة الحيوية الهامة، ومن ثم تزويد اليابسة بما تحتاجه من ماء لاستمرار الحياة.

لو توقفت الدورة المائية لأصبحت الأرض كلها صحراء قاحلة لا حياة فيها، شأنها شأن كل الصحاري الموجودة اليوم على الأرض، ورغم أن هذا أمر معروف ومسلّم به، إلا أن هناك حقيقة مُهملة لا يتم التطرق إليها إطلاقاً عند الحديث عن الدورة المائية، وهي أن تزويد اليابسة بالماء – وهو العنصر الأساسي لقيام أي حياة على الأرض – يعتمد اعتماداً كاملا على الخصائص الذاتية للماء، دون مساعدة أي عامل أو نظام خارجي آخر.

ولكن مهلاً، إنها لحقيقة عجيبة حقاً أن تزويد اليابسة بالماء يتم بواسطة الخصائص الذاتية للماء، وحتى نقف على مدى العجب في هذه الحقيقة، دعونا نتخيل أن الوقود يصل إلى محطات البترول بخصائصه الذاتية، وأن الملابس تصل إلى دكاكين بيعها بواسطة الخصائص الذاتية للأقمشة، إن هذا لو حدث لكان مذهلاً حقاً، ولكنه يحدث للماء، فهو يصل لليابسة بواسطة خصائصه الذاتية كما رأينا.

مكتبة
t.me/t_pdf

الحتّ والتعرية

لئن كان الدور الأساسي للدورة المائية هو إيصال الماء لليابسة، فإن لها أدواراً ووظائف أخرى كثيرة، لا تقل أهمية عن دورها الأساسي ذاك، ومن أهم تلك الأدوار دورها في الحتّ والتعرية، والمقصود بالتعرية أي التآكل الذي يُسببه سقوط الماء وجريانه على الصخور، والذي ينتج عنه ذرات من التربة

أو الرمل، ولولا تلك العملية لما كان هناك نبات ولا حياة، وهاكم التفاصيل.

عند هطول الأمطار على سطح الأرض، فإن ما يصادف سقوطه على الجبال أو المناطق الصخرية، لا بد أن يتجمع في جداول ومجار وسواقي ليعود من جديد إلى البحار والأنهار والبحيرات، فيؤدي بذلك وظيفتين:

الأولى هي سد النقص الذي يحدثه التبخر في تلك السطوح المائية، **والثانية** هي أن ماء المطر عندما يرتطم بالصخور أثناء هطوله، وعندما يجري من الجبال مُشكلاً جداول تنحدر إلى المناطق المنخفضة، يقوم مع الزمن بعملية حت وتعرية للصخور، ينتج عنها ذرات من التربة المعدنية، تجري مع ماء الجداول، لتستقر في المناطق السهلية المنخفضة، فتقوم بتخصيبها وجعلها قادرة على الإنبات، ولولا هذه العملية لما أمكن أن يكون على سطح كوكبنا أرض زراعية صالحة لنمو النباتات والأشجار، ولما كانت هناك حياة على الأرض.

والمدهش حول عملية الحتّ والتعرية هذه، هي الطريقة التي تتم بها، إذ إن هذه العملية هي نتيجة تضافر مجموعة من صفات الماء الفريدة، الكيميائية منها والفيزيائية، وكأن تلك الصفات تجتمع لتضع خطة محكمة تتعاون على تنفيذها معاً، لينتج عنها في النهاية تلك العملية الحيوية: الحتّ والتعرية، والتي هي عملية أساسية لنمو النبات على الأرض.

السائل السحري: وأول هذه الصفات، قدرة الماء الفائقة على إذابة العناصر المعدنية التي تلزم لتخصيب الأرض، عندما يقوم بعملية حت وتعرية الصخور، إذ لا يمكن تخيل سائل آخر معروف يملك من الصفات ما يمكنه من القيام بهذا العمل، يقول العالم لورنس جوزيف هندرسون: "**جميع الصخور تخضع لعملية حت وتعرية يقوم بها الماء، يساعده على ذلك**

وجود جزيئات من حمض الكربون المذابة فيه".[١] ويدلل هندرسون على قدرة الماء الفائقة على القيام بعملية الحت والتعرية، بإشارته إلى الكمية الهائلة من المواد التي تنقلها الأنهار إلى البحار سنوياً، والتي يقدرها بخمسة آلاف مليون طن من المواد المذابة في الماء،[٢] ويؤكد ذلك العالم فيليكس فرانكس والذي يعتبر من أهم المرجعيات العلمية حول الماء في العصر الحديث، حيث يشير إلى أن الماء يكاد يكون المذيب الكوني الذي تذوب فيه معظم عناصر الطبيعة، وأن عمليات الإذابة التي يقوم بها الماء، تجعل تنقيته بشكل كامل أمراً غاية في الصعوبة، وذلك لأن جميع العناصر الكيميائية المعروفة تقريباً، تذوب في الماء ولو بنسب ضئيلة جداً، ولكن قابلة للاكتشاف.[٣]

إن عملية حت وتعرية الصخور بواسطة الماء، تدين بالفضل الكبير في كفاءتها وسرعتها إلى ميزتين أخرتين يتمتع بهما الماء: **الأولى**: هي أن غاز ثاني أوكسيد الكربون قابل للذوبان في الماء، **والثانية**: أن هذا الغاز نفسه يتفاعل مع الماء ليشكل حمض الكربون، والذي يقوم بتحفيز العديد من التفاعلات الكيميائية مع جزيئات المعادن الموجودة في الصخور، ما يساعد على إذابتها في الماء، وهذ مثال على تلك التفاعلات:

حمض الكربونيك + كربونات الكالسيوم ← بيكربونات الكالسيوم

التوتر السطحي والتمدد عند التجمد: هاتان الصفتان الفريدتان للماء تلعبان دوراً هاماً في قدرته على حت الصخور وتعريتها، وتتعاونان على ذلك

---

(١) Lawrence Henderson, The Fitness of the Environment: An Inquiry into the Biological Significance of the Properties of Matter (New York: The Macmillan Company, 1913), 114.

(٢) Ibid., 113.

(٣) Felix Franks, "Water the Unique Chemical," in Water a Comprehensive Treatise, ed. Felix Franks, vol. 1 (New York: Plenum Press, 1972), 20.

بشكل منظم مدروس، أما التوتر السطحي للماء، وهو الأعلى في الطبيعة بعد الزئبق، فهو الذي يتيح للماء أن يندس في الشقوق الصخرية مهما كانت صغيرة ويستقر فيها، وكأنه يهيئ مسرح الأحداث لتدخُّل الميزة الأخرى، وهي تمدد الماء عند التجمد، فعندما تنخفض درجة الحرارة إلى ما دون درجة تجمد الماء، يقوم الماء بالتمدد، مخالفاً بذلك كل العناصر المعروفة في الطبيعة والتي تتقلص بالبرودة (باستثناء عنصر واحد وهو فلز معدني نادر اسمه الغاليوم)، وعند تجمد الماء يزداد حجمه بمقدار يصل إلى ١٠%، ويشكل بذلك ضغطاً كبيرا على جدران الشقوق الصخرية التي يستقر فيها، ما يؤدي إلى تفتت تلك الجدران، وهذا أمر له نتيجتان هامتان: الأولى الحصول على ذرات تربة تجرفها المياه فيما بعد إلى المناطق المنخفضة، والثانية أن تفتت الشقوق يؤدي إلى زيادة السطوح الصخرية التي تلامس الماء، والتي تتفاعل معه ليؤدي دوره في الحت والتعرية عن طريق الإذابة التي ذكرناها آنفاً.

اللزوجة: بالإضافة إلى ما سبق، تساهم لزوجة الماء وقدرته الفائقة على التنقل في الجداول والشلالات عائداً إلى البحار التي تبخر منها أصلاً، بالتعاون مع الجزيئات الصخرية التي يحملها معه أثناء رحلة العودة، يساهم كل ذلك في تحسين قدرة الماء بشكل كبير على حت وتعرية القشرة الأرضية، ذلك لأن تلك الذرات الصخرية التي يحملها الماء معه بعد أن قام بتعريتها من الصخور كما أسلفنا، تعمل كالمِبرد في القشرة الأرضية التي تمر عليها مع الماء الجاري أثناء رحلة الرجوع تلك، فتقوم بحت المزيد من ذرات الصخور وحملها معها لترميها في دلتا نهر أو قاع بحر.

تتفاوت درجة لزوجة السوائل تفاوتاً شديداً، ودرجة لزوجة الماء مثالية

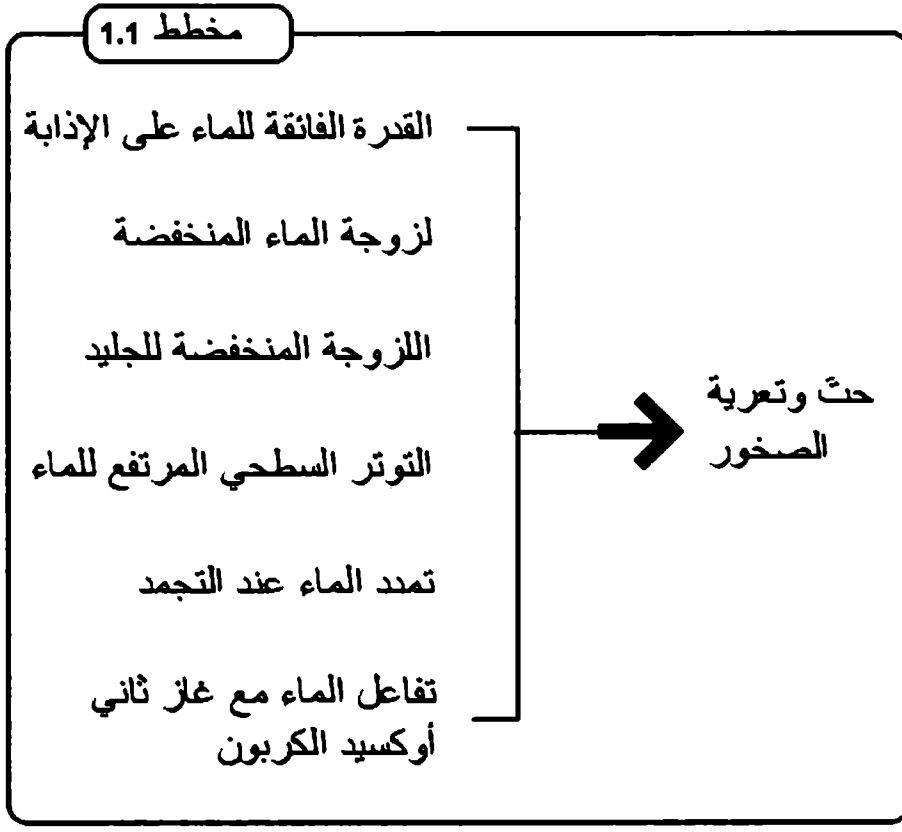
تماماً لتقوم بعملية الحت والتعرية ونقل نواتج هذه العملية الهامة[١]، ولو كانت درجة لزوجة الماء عالية كغيرها من السوائل، كزيت الزيتون مثلاً، لانخفضت قابليتها للجريان بشكل كبير ولانخفضت معها قدرتها على حت القشرة الأرضية أثناء جريانها عليها محملة بذرات التربة، ولتوضيح ذلك نضرب مثالاً: لو تخيلنا أننا استبدلنا العسل بالماء، فإن ذلك سيؤدي إلى أن يكون جريانه على الأرض في غاية البطء، وسيترك خلفه العديد من المسطحات الأرضية مغطاة بمستنقعات من العسل اللزج، ما يشكل تهديدا حقيقيا للحياة على اليابسة، هذا إن أمكن ظهور الحياة أصلا في هذه الحالة، وعلى العكس، لو أن لزوجة الماء كانت منخفضة، لازدادت قابلية حركته وتنقله عبر الجداول وفوق سطح الأرض، ولكن في المقابل ستقل بشكل كبير قدرته على حمل ذرات الرمل التي تعمل كما أسلفنا كالمِبرد حين تجري مع الماء فوق سطح الأرض.

وهكذا نرى أن تضافر كل الخصائص الفريدة السابقة للماء، وهي قدرته على التفاعل مع فلزات الصخور وإذابتها، والتوتر السطحي، والتمدد عند التجمد، واللزوجة المثالية، كل هذه العوامل تعمل معاً بشكل متناغم متناسق لتقوم بعملية الحتّ والتعرية بكفاءة عالية، وبسرعة فائقة، ويكفي أن نعلم أن شلالات نياغرا قد تراجعت بمقدار سبعة أميال خلال مدة لا تزيد عن ١٢ ألف سنة[٢] وهي سرعة فائقة في عرف الجيولوجيا وعمليات الحتّ والتعرية.

---

(١) يقيس الفيزيائيون لزوجة السوائل بوحدة باسكال.ثانية Pa.s وحتى ندرك مدى التفاوت في لزوجة السوائل، يكفي أن نعرف أن لزوجة النيتروحين السائل هي ٠,٠٠٠٠١٦٧ Pa.s ولزوجة زيت السيارات هي ٠,٠٢ Pa.s ولزوجة القطران هي ٣٠ ألف Pa.s، أما لزوجة الماء فقيمتها المثالية المناسبة لدورها في الطبيعة فهي ٠,٠٠١ Pa.s.

(٢) Niagara Falls, Geology, New York State Museum, accessed June 22, 2017, www.nysm.nysed.gov/research-collections/geology/resources/niagara-falls



الأنهار الجليدية: إن كل ما تكلمنا عنه حتى الآن من دور للماء في عملية الحت والتعرية، هو ما يقوم به في طوره السائل، مُسلحاً بخصائصه الفريدة، كاللزوجة وسهولة الحركة، غير أن دور الماء لا يقتصر على ما يقوم به في طوره السائل، بل يساهم أيضا في هذه العملية الحيوية في طوره الجليدي، ونبدأ بلزوجة الجليد، فلزوجته كمادة صلبة هي أعلى بعشر مرات من لزوجة الصخور، وهذا يسهل انزلاق الأنهار والجداول الجليدية فوق الصخور، ولو أن لزوجة الجليد كانت قريبة من لزوجة الصخور، لوجدنا كميات هائلة من الماء تبقى عالقة على شكل غطاء جليدي يغطي مساحات شاسعة في المناطق القطبية وفي المناطق المرتفعة، ولما ساهمت

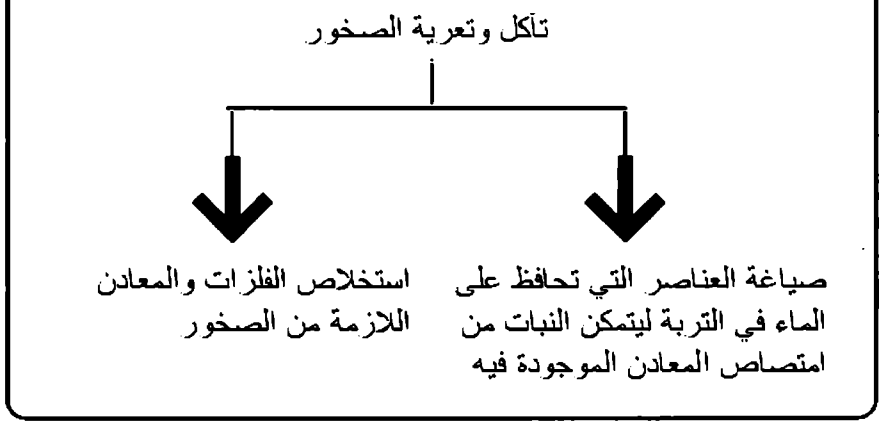
الأنهار الجليدية والكتل الجليدية المنزلقة في عملية الحت والتعرية.

ويتلقى الجليد – وهو الماء المتجمد – مساعدة من أبيه – الماء السائل ذلك أن سماكة طبقات الجليد، تجعل الطبقات السفلى منها معرضة لضغط شديد مما فوقها، فيؤدي ذلك إلى أن يذوب الجليد في منطقة التماس بينه وبين الصخور، ويشكل غلالة رقيقة من الماء تفصل بين الجليد والصخور، وتساعد بشكل كبير على سرعة انزلاق الجليد فوق الصخور، وهذا يشبه تماماً ما يحدث في أحذية التزلج التي يستخدمها الراقصون على الجليد، فإن حذاء التزلج يستند على الجليد بواسطة ما يشبه نصل السكين، ما يشكل ضغطاً كبيرا على سطح الجليد، وينتج تلك الغلالة الرقيقة من الماء بين حذاء التزلج والجليد، فيخف الاحتكاك بينهما بشكل كبير، ويساعد ذلك الراقص على أداء حركاته بسرعة ورشاقة، وكذلك يساعد ذوبان الماء أسفل طبقات الجليد على سرعة انزلاقه، وهكذا فإن الماء السائل، يساعد الماء المتجمد على الانزلاق وعلى أداء دوره في الحت والتعرية.

عندما تنزلق الكتل الجليدية الضخمة عبر الوديان وفوق الأرض، فإنها تكون قادرة على تفتيت طبقات أقسى الصخور الموجودة تحتها أثناء انزلاقها، وتقوم بما يشبه عملية طحن للصخور التي تفتتها فتحولها إلى رمل ناعم لا يزيد قطر حباته عن أجزاء من المليمتر، وهذا يؤدي إلى زيادة كبيرة في السطوح المعرضة إلى عمليات التعرية الكيميائية، إن عملية الحت والتعرية التي تقوم بها الكتل الجليدية الضخمة أثناء انزلاقها هي التي تشكل الوديان والتشكيلات الصخرية التي نشاهدها في الجبال وكذلك الركام الصخري الذي تحمله من الجبال وتلقيه في السهول.

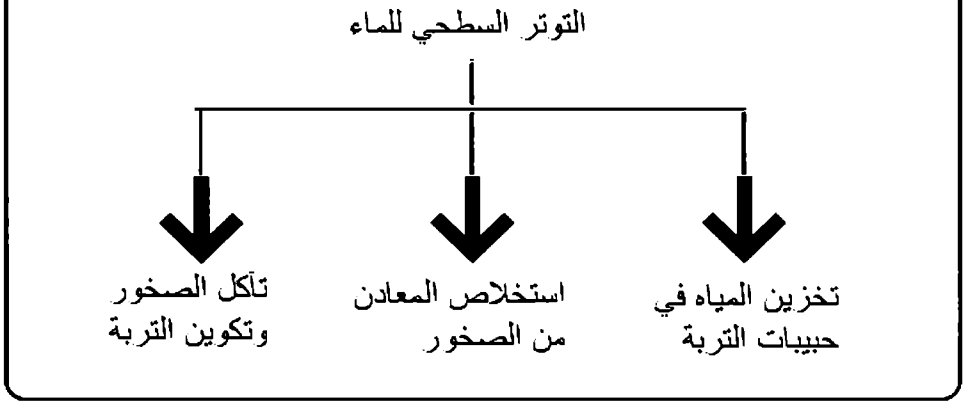
مكتبة 1014

مخطط 1.2



خلاصة القول: الماء مهيأ بشكل مثالي ليقوم بعملية الحتّ والتعرية، والفضل في ذلك يعود لخصائصه الذاتية الفريدة التي لا يشاركه فيه أي عنصر آخر في الطبيعة، والتي تعمل معاً بشكل متناسق متناغم لتقوم بتنفيذ الدورة المائية، التي تحمل الماء والتربة والخصب والغذاء إلى الأرض لتصبح صالحة للإنبات، وهذه الصفات المتناسقة ممكنة فقط إذا كان الماء مُعداً ومُجهزاً بشكل مُسبق، بصفاته وخصائصه ومزاياه للقيام بهذه الدورة المائية.

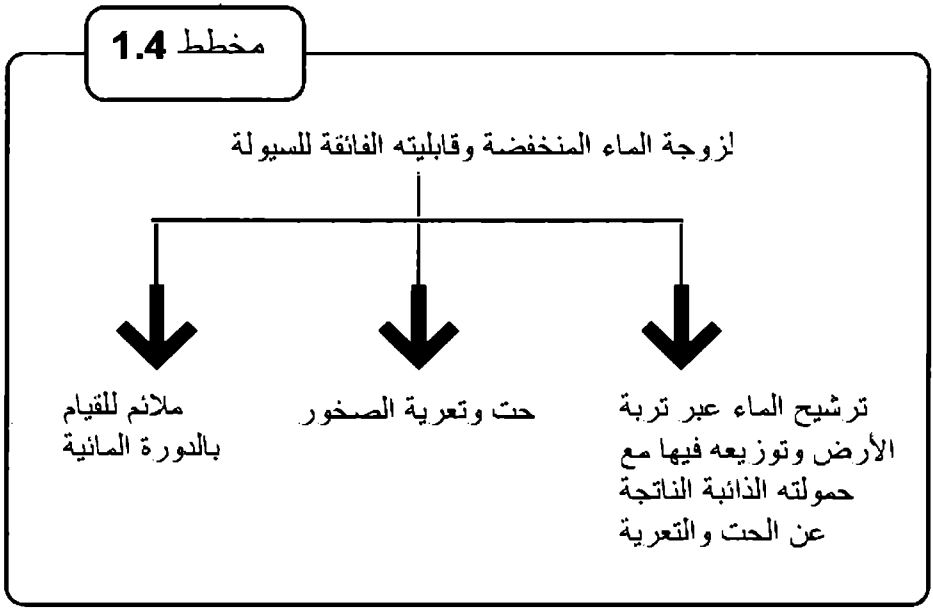
مخطط 1.3



التربة

بقي هناك دور آخر للماء، لابد أن يقوم به من أجل استمرار الحياة البرية على الأرض، إذ بعد أن تقوم الدورة المائية بتزويد الأرض بالتربة اللازمة لإخصابها، وبالماء اللازم لسقايتها، فإن هذا الماء الغني بالفلزات وبالمواد المعدنية والغذائية اللازمة لنمو النبات، يجب أن يبقى مخزوناً في التربة وفي متناول جذور النباتات، حتى يزود النبات بالغذاء اللازم لنموه وبقائه، فكيف يحدث هذا؟

إن من أعجب العجب، أن العملية التي يقوم بها الماء في الحت والتعرية وحمل التربة والماء إلى الأرض، تنتهي نهاية سعيدة مبهرة، حيث تكون نهايتها بأن يتم تهيئة مجموعة من الشروط والظروف التي تتضافر معاً لتشكل مخزناً مثالياً للماء، يحفظه في التربة وفي متناول جذور النباتات.



عندما يقوم الماء بعمليات التعرية الكيميائية على مادة السيليكات التي تتكون منها الصخور، ينتج عن ذلك أنواع مختلفة من حبيبات التربة متفاوتة في حجومها، منها حبيبات يزيد حجمها عن ٣٦ ميكرون، ومنها ذرات الطمي التي يتراوح قطرها ما بين ٢ و ٣٦ ميكرون، ومنها الغَضار (التراب الطيني) الذي يقل قطر حباته عن ٢ ميكرون، ويقوم هذا الخليط من المواد غير العضوية بتأمين سطوح شاسعة، وتجاويف دقيقة جداً في التربة، بحيث يتمكن الماء بواسطة الخاصية الشعرية،[١] من أن يستقر حول تلك السطوح وداخل تلك التجاويف، فلا يرشح إلى باطن الأرض بل يبقى قريبا من جذور النباتات لتمتصه وتمتص معه غذاءها اللازم لنموها وبقائها.

إن تمتع الماء بالخاصية الشعرية التي تؤدي إلى بقائه معلقاً ضمن ذرات التربة الدقيقة وفي التجاويف المجهرية التي تشكلها التربة، هو أمر جوهري لا غنى عنه من أجل ضمان بقاء الماء في طبقات التربة العليا حول جذور النباتات، ولولا هذه الخاصية لَرَشح الماء إلى باطن الأرض ولما بقي منه شيء في طبقات التربة العليا ليمتصه النبات فيحافظ على نموه وبقائه، وكما يقول اثنان من كبار علماء التربة، هما نيل برادي و ريمون ويل في كتابهما (عناصر الطبيعة وخصائص التربة): "**بما أن أوراق النباتات معرضة بشكل مستمر لأشعة الشمس، فإنها تحتاج إلى أن يتم تزويدها بالماء بشكل مستمر غير**

---

(١) عند وضع سائل في إناء، ثم وضع أنبوب ضيق وآخر واسع، نلاحظ أن السائل يرتفع داخل الأنبوبين تلقائياً، خاصة في الأنبوب الضيق أكثر من الواسع، وهذه الخاصية هي التي تتيح للماء مثلاً الانتقال من جذور النباتات بالأسفل في الأرض إلى فروعها وأوراقها المرتفعة فوق الأرض وضد الجاذبية الأرضية عبر الأنابيب الشعرية الضيقة، ويكمن السر في هذا السلوك إلى أن ذرات السائل تنجذب إلى السطح الداخلي للأنبوب فترتفع إلى الأعلى (وتسمى قوة التلاصق وتختلف قيمتها في كل سائل عن الآخر)، ثم تجذب هذه الذرات بدورها ذرات السائل الأخرى (وتسمى هذه بقوة التماسك) ويستمر ارتفاع السائل إلى أن يتساوى وزنه مع قوة الشد. [المترجم]

منقطع، وذلك من أجل عملية التبريد اللازمة لمقاومة الجفاف بسبب حرارة الشمس، ولنقل الغذاء إليها، وللقيام بعملية التركيب الضوئي، وللمحافظة على ضغط الماء داخل الخلايا النباتية، فهل تكفي الأمطار لتأمين هذا التيار الدائم اللازم من الماء؟ الجواب لا بالتأكيد لأن الأمطار لا تهطل على مدار العام، فلا بد من وجود وسيلة لتخزين الماء في التربة حتى يستطيع النبات الحصول على ما يحتاجه من الماء عند انقطاع الأمطار، وهذه الوسيلة هي قدرة الماء على البقاء مُعلقاً مُخزناً في التربة بفضل الخاصية الشعرية التي يتمتع بها، وهكذا فإن توفر هذه الخاصية للماء أمر أساسي لبقاء النباتات على سطح الأرض".[1]

إن من السهل تخيل الآثار المدمرة على النبات لو أن المسامات الموجودة في التربة كانت واسعة بشكل يسمح للماء بالتصريف إلى طبقات التربة السفلى بعيداً عن جذور النبات، أو لو أن التربة كانت كتيمة بحيث لا تمتص الماء إطلاقاً.

ففي الحالة الأولى سيبدأ النبات بالذبول ثم الموت بعد أسبوع من هطول الأمطار، لأن الماء في هذه الحالة لن يلبث أن يتم تصريفه بعيداً عن الجذور، وفي الحالة الثانية سيبقى الماء على سطح التربة ولن يتسرب إلى ذراتها وبالتالي لن يحصل النبات على حصته منه، وسيجري الماء على سطح التربة جارفاً معه التربة شيئاً فشيئاً باتجاه المناطق المنخفضة ليستقر في النهاية في الأنهار جارفاً معه ما يقف في طريقه من تربة، ومع مرور الوقت سيؤدي عدم حصول النبات على ما يلزمه من الماء بشكل مستمر إلى التصحر وانقراض الحياة النباتية، كما هي الحال في مناطق مثل الصحراء الكبرى (في شمال

---

(١) Nyle C. Brady and Raymond Weil, Elements of the Nature and Properties of Soils, 15th edition (Harlow, Essex: Pearson Education Limited, 2016), 22.

أفريقيا) وصحراء الربع الخالي (في شبه الجزيرة العربية).

الغضار

يلعب الغضار المشبع بالماء، وبتعبير آخر التراب الطيني، دوراً أساسياً في تمكين التربة من الحفاظ على الماء المحمل بالغذاء اللازم للنبات، فالغضار يتألف من ذرات دقيقة جداً من التربة كما أسلفنا، والعناصر التي تتكون منها ذرات الغضار هي السيليكات المائية أو سيليكات الألومنيوم، بالإضافة إلى بعض ذرات المعادن المؤكسدة والمواد العضوية، وبفضل هذه البنية المجهرية للطين الغضاري، وبفضل ما يحويه من مواد وأوكسيجين، فإن ذراته تتمتع بشحنة كهربية تجذب إليها غيرها من ذرات الماء والمعادن والأملاح، اللازمة لتغذية النبات، وتمنعها من أن ترشح مع الماء المتسرب عبر التربة إلى أعماق الأرض، فيصبح الطين الغضاري بذلك مخزناً للماء والغذاء اللازم للنبات، وكل ذلك يرجع بشكل أساسي للسطوح الكبيرة التي يوفرها الغضار بين ذراته الدقيقة، وهذا ما يشير إليه العالمان نيل برادي و ريموند ويل في كتابهما (الطبيعة وخصائص التربة): "**ويكفي أن نعرف أن غراماً واحداً من ذرات الغضار يحتوي من السطوح ما يزيد ١٠٠٠ مرة عن السطوح التي يحويها غرام واحد من التربة العادية**"،[١] ويضيفان: "**بالإضافة إلى التمثيل الضوئي والتنفس، فإن أهم العمليات التي تجري في الطبيعة واللازمة لاستمرار الحياة على سطح الأرض هي عملية امتصاص جذور النباتات للغذاء والماء من التربة، ولولا قدرة الطين الغضاري على الحفاظ على الماء والغذاء، ولولا الخصائص الذاتية للماء التي تساعد على هذا الأمر،**

---

(١) Nyle C. Brady and Raymond R. Weil, The Nature and Properties of Soils (New Jersey: Prentice Hall, 1996), 242.

لما أمكن وجود حياة نباتية على الأرض".[1]

ومن نافلة القول أن نضيف أن وجود أحياء على الأرض غير ممكن دون وجود حياة نباتية.

إن كل ما سبق بيانه في هذا الفصل، يدل بما لا يدع مجالاً للشك، أن هذه العمليات التي تجري في الطبيعة، تسير وفق نظام موجه بشكل رائع مدهش، يتجه إلى **غاية محددة**، ذلك لأن الأسباب والعوامل التي تقوم بعملية الحت والتعرية على الصخور بواسطة الماء، فتستخلص من تلك الصخور الفلزات والجزيئات المعدنية والغذاء اللازم لحياة النبات، هي نفسها الأسباب التي تجعل من التربة بمكوّناتها من الرمل والسيلت والغضار، مخزناً مثالياً لتخزين الماء والغذاء اللازم للنبات، وتحفظه لتتمكن جذور النبات من امتصاصه، فتتم بذلك المحافظة على استمرار الحياة النباتية، وهذا يؤدي بالطبع إلى استمرار الحياة البرية، لأن النباتات ليست سوى وسيط يمتص الغذاء والماء والمعادن من تربة الأرض، ويحولها إلى غذاء تعيش عليه آكلات العشب من الحيوانات، وهذه الأخيرة هي الغذاء الذي تعيش عليه آكلات اللحوم.

وهناك أدلة ومؤشرات أخرى واضحة على **الغائية**[2] الكامنة في كل هذه العمليات، وعلى كون الأرض مهيئة ومناسبة لقيام الحياة، منها أن ذرات الغضار شديدة النعومة، والتي تشكل النسبة الأكبر من مكونات التربة الزراعية، وتلعب مع الماء الدور الجوهري الذي تحدثنا عنه في وجود واستمرار

---

(١) Ibid., 241.

(٢) الغائية هي شرح الظواهر من حيث الغرض الذي تخدمه بدلاً من السبب الذي تنشأ من خلاله، والمقصود هنا أن خواص الماء تبدو وكأنها تعمل من أجل غايات مسبقة محددة. [المترجم]

الحياة النباتية، هذه الذرات ليست سوى الحصيلة النهائية لعمليات الحتّ والتعرية التي يقوم بها الماء والجليد على صخور القشرة الأرضية.

ومن الأدلة الأخرى على الغائية، أن مادة السيليكات هي المكون الرئيسي لصخور القشرة الأرضية الخارجية التي يعمل عليها الحت والتعرية، ما يجعل الغضار الناتج عن تلك العملية هو المادة الأفضل الأنسب من حيث القدرة على حفظ المياه وتزويد النبات به، ولو كانت ذرات الغضار من مادة أخرى لما تمكن من ذلك.

ومن المؤشرات الواضحة على وجود الغائية وراء ما ذكرناه من عمليات، أن عملية الحت والتعرية هي سبب رئيسي في المحافظة على درجة حرارة الأرض ضمن المعدلات المعروفة لنا اليوم، كما سنرى في الفصل الثالث من هذا الكتاب، والحفاظ على حرارة الكرة الأرضية ضمن هذه المعدلات يؤدي إلى الحفاظ على كميات الماء الموجودة في الأرض، سواء في البحار والمحيطات والأنهار والبحيرات، أو في الجو على شكل بخار، والمحافظة على كميات الماء بدورها شرط أساسي لاستمرار الدورة المائية التي من نتائجها الحصول على الغضار.

وهناك المزيد مما يمكن أن نضيفه على المؤشرات الغائية في حكاية الماء هذه، ومن ذلك أن إحدى الميزات والخصائص الفريدة للماء - وهي درجة لزوجته - تلعب دوراً هاماً في عملية الحت والتعرية، وفي قابلية الماء لاستخلاص الفلزات وذرات الغضار من الصخور، وكذلك في قابلية الماء على تخزين نفسه في التربة الزراعية بين ذرات الغضار كما أسلفنا، زد على ذلك أن انخفاض اللزوجة ساعد أيضاً على سيلان الماء وجريانه بسهولة وبالتالي نقل نفسه بشكل ذاتي عبر سطح الأرض وعبر مسامات التربة حاملاً معه الغذاء اللازم للنبات، وحمل هذا الغذاء ما كان ليتم لولا لزوجة

الماء، ولولا خاصية أخرى فريدة للماء وهي قدرته على إذابة العناصر الغذائية اللازمة للنبات من معادن ومواد عضوية وغير ذلك.

خلاصة القول: لا يكتفي الماء باستخلاص الفلزات والمعادن من الصخور، ولكنه يقوم أيضاً بإذابتها فيه، ونقلها إلى مواطن الإنبات، وتوفيرها في التربة بشكل يسمح لجذور النباتات بامتصاصها، فالماء إذن هو الذي يضع حجر الأساسي الأول لنشوء الحياة من تربة الأرض، فتنبت الأزهار والأشجار، لتعيش عليها الكائنات الحية التي تستوطن الكرة الأرضية.

العناية الإلهية

أدرك البشر منذ عصور قديمة تعود إلى ما قبل الميلاد، وجود دورة مائية على كوكب الأرض، تبدأ من تبخر الماء من سطح البحار والمحيطات، مروراً بتكثف البخار على شكل سحب تهطل منها الأمطار على اليابسة، لينتهي بها المطاف في البحر من جديد، وقد كتب العالم الأيرلندي جيمس دوجي بحثاً مستفيضاً عن الدورة المائية أشار فيه إلى أن هذه الدورة كانت بشكلها البسيط هذا معروفة منذ القدم، ونقل أقوال عدة علماء إغريق وغيرهم من عصور ما قبل الميلاد والتي تؤكد ذلك[1].

ولكن رغم ذلك كان العلماء والكُتاب عبر القرون - مرورا بالقرون الوسطى - يعتقدون أن مياه الأمطار وحدها - والناتجة عن هذه الدورة المائية - لا تكفي لتزويد الأنهار والبحيرات وبقية مصادر الماء السطحية

---

(١) J. C. I. Dooge, "Concepts of the hydrological cycle. Ancient and Modern."
والبحث موجود بصيغة pdf للتنزيل من الرابط التالي لمن أراد التوسع:
https://hydrologie.org/ACT/OH2/actes/03_dooge.pdf

بالماء، واعتقدوا خطأ أن هناك قنوات طبيعية تحت سطح الأرض، يصعد الماء عبرها من البحار إلى الينابيع. ومنها ينساب خلال الأنهار والجداول، وقد شبّه العالم الإيطالي الشهير (ليوناردو دافنشي) عملية صعود ماء البحر إلى الينابيع في الجبال، عبر قنوات الأرضية المفترضة، بعملية صعود الماء عبر جذور وسيقان الأشجار إلى أغصانها وأوراقها، وبعملية جريان الدم في أجسام الأحياء عبر العروق.[١]

غير أن هذا المفهوم المغلوط بدأ بالتغير اعتباراً من القرن السابع عشر، وبدأ العلماء يدركون أن ماء المطر وحده كاف لتزويد المسطحات المائية على الأرض بحاجتها من المياه، وقد تم إثبات ذلك بشكل قاطع في بحث شامل قدمه العالم الكيميائي جون دالتون John Dalton عام ١٧٩٩م، والذي أكد فيه أن ملائمة الدورة المائية للحياة على الأرض - عبر تزويدها للأرض بمصدر لا ينضب للماء - هو من أول وأهم الأدلة التي تشير إلى أن الأرض تتمتع بعناية إلهية لا شك فيها، وقد عبر دالتون مرات عديدة خلال بحثه عن انبهاره الشديد بنظام الدورة المائية المحكم وبالعناية الإلهية التي زودت الأرض بهذا النظام.

إن انبهار العلماء بروعة الدورة المائية كان شائعاً قبل دالتون، ويمكن تلمسه في العديد من مؤلفاتهم وأبحاثهم، ومن أفضل الأمثلة على ذلك ما كتبه العالم جون راي John Ray في كتابه (حكمة الله تتجلى في خلقه)[٢]، إذ يبين فيه أن توزيع الماء بين البحار واليابسة هو من أوضح الأدلة على العناية الإلهية المحيطة بكوكب الأرض، وأن هطول الأمطار لو لم يكن

---

(١) Leonardo da Vinci, quoted in Dooge, op. cit., 5.

(٢) عنوان الكتاب بالإنجليزية:
Wisdom of God manifested in his Works of Creation.

بالطريقة التي نعرفها على شكل قطرات لطيفة تجلب الخير ولا تؤذي - أي وليس على شكل جريان مصبوب من السماء للأرض - لسبّب دماراً كبيراً للحرث والنسل، ولجرف معه النباتات من جذورها والبيوت من أساساتها، ولسبّب فيضانات تسبب غرق معظم الأحياء البرية. ويظهر دور الرياح الأساسي في تشتيت الغيوم ونقلها من مكان لآخر حول الأرض لتصل المياه إلى أكبر رقعة ممكنة.

ويتحدث العالم (ي-في توان) في كتابه (الدورة المائية وحكمة الله)، عن أهمية الدورة المائية في الدلالة على صنع الخالق وحكمته، حيث كتب يقول: "**تعتمد براهين وجود حكمة وراء الخلق على ثلاثة أصناف رئيسية من الأدلة: أدلة تتعلق بالحياة ونشوئها واستمرارها، أدلة تتعلق بالفلك والفضاء، وأدلة تتعلق بالأرض وبيئتها وبنيتها وملاءمتها للحياة، ولقد كانت الأدلة المتعلقة بالأرض حتى أمد قريب من أصعب الأدلة التي يمكن الاعتماد عليها في بيان حكمة الخالق، وقد استمر ذلك إلى أن تمكن الإنسان من اكتشاف الدورة المائية، لقد كان من الصعوبة بمكان إثبات أن ما نراه في أرضنا من بر وبحر وسيول وجبال وأنهار وغيرها من الظواهر، يجمعها كلها تناسق مدهش وتناغم عجيب ليصل بها إلى هدف مرسوم، هو أن تكون الأرض ملائمة لنشوء الحياة واستمرارها، وفي هذا التناغم والتناسق، تقوم الدورة المائية بلعب دور المدير والمنظم لمناخ الأرض ومواردها، ويتكامل عملها مع الدورة الجيولوجية، فيبدو لنا أننا أمام مشهد من العظمة البديعة الشاملة، والتي تجعل بعض جهودنا الحديثة في وصف الأرض وكأنها مزيج من الحقائق والأفكار المفككة**".[1]

---

(١) Yi-Fu Tuan, The Hydrologic Cycle and the Wisdom of God (Toronto: University of Toronto Press, 1968). 4-6.

الغائية الواضحة

لقد رأينا في هذا الفصل، أن الدورة المائية تعتمد على قدرة الماء على التواجد على الأرض، وضمن مجال درجات حرارتها العليا والقصوى، بأطواره الثلاثة، الغازي (البخار)، والسائل (المسطحات المائية)، والصلب (الجليد)، وعلى اللزوجة المنخفضة للماء، وأن هذه الدورة قامت وبكفاءة مدهشة بتوفير الماء لليابسة عبر ملايين السنين.

ولما كانت الدورة المائية تعتمد على الخصائص الذاتية الفريدة للماء، فإنه يمكن القول إن الماء يقدم نفسه على أنه الرحم الذي تُولد فيه الحياة، وذلك عندما ينتقل، أو بالأحرى ينقل نفسه بواسطة الدورة المائية من البحار والمحيطات إلى السهول والبراري.

ورأينا أيضاً في هذا الفصل، أن الماء يتمتع بمجموعة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية التي تعمل معاً بتناسق مدهش فتقوم بعملية الحت والتعرية، وتستخلص من الصخور المواد اللازمة لتخصيب التربة وتغذية النبات، ثم تقوم بتخزين الماء المحمل بهذا الغذاء ضمن ذرات التربة ليستخدمه النبات وقت الحاجة.

من الصعوبة بمكان أن نتخيل أن كل هذه العمليات السابقة الذكر - وبكل تفاصيلها التي أفضنا في شرحها - ليست دليلاً على وجود تصميم محكم بديع خلفها، ذلك لأن لدينا مجموعة من الصفات الكيميائية والفيزيائية التي تم تنسيقها وترتيبها لتتعاون معاً بشكل مرسوم مُخطط مُحكم فتقوم بكل هذه العمليات المتتالية، ابتداء من الحت والتعرية، انتهاء بتغذية النبات، وكلها تعتمد على الخصائص الذاتية للماء، والتي يمكن تلخيصها في خمس صفات أساسية:

١. قابلية الماء للتواجد بأطواره الثلاثة المختلفة ضمن المجال الطبيعي للحرارة على الأرض.

٢. التوتر السطحي العالي للماء.

٣. تمدد الماء عندما يتجمد.

٤. درجة لزوجة الماء.

٥. القابلية الاستثنائية التي يمتلكها الماء لإذابة عدد كبير جداً من المركبات الصلبة.

ألا يدل ذلك كله على وجود تصميم مُسبق لكل هذه العمليات المتناسقة؟ أو على الأقل: ألا يجعل ذلك فرضية وجود تصميم مُسبق مطروحة بشكل قوي جداً ولا يمكن تجاهلها أو غض الطرف عنها؟

تأمل معي عزيزي القارئ، حتى يستفيد النبات من الماء المحمل بالغذاء والأملاح، فلا بد أن يتم منعه من العودة السريعة إلى البحار، فهو كما نعلم يتميز بقدرة فائقة على الجريان والتنقل، وهنا ينبري الماء نفسه من جديد لينقذ الموقف ويرسم خطة ليمنع نفسه من العودة السريعة للبحار والأنهار، فيتيح للنبات أن يستفيد منه، كيف ذلك؟

الجواب المدهش أن عملية الحت والتعرية التي يقوم الماء عن طريقها باستخلاص الغذاء للنبات، هي نفسها العملية التي يقوم الماء بواسطتها بحتّ الصخور للحصول على التربة الناعمة، ولا سيما الغضار، ثم يجرفها معها إلى البر، لتقوم بحفظه في التربة ومنعه من السيلان السريع والانتقال إلى البحار من جديد، كما شرحنا آنفاً في هذا الفصل، فالماء إذن لا يكتفي باستخلاص الغذاء للنباتات ونقله معه إلى التربة، بل يقوم أيضاً بتوفير

الوسط والآليات اللازمة لحفظ الماء حتى يتمكن النبات من الاستفادة منه. وبتعبير آخر بسيط، إن الماء يلعب دور مدير كسّارة،[1] ومدير مخازن، ومدير شركة نقل في الوقت نفسه! هذا ليس تصميماً مشابها لما يقوم به الإنسان، هذا تصميم أعلى وأشد تعقيداً من أن يقوم به البشر.

وهناك بُعد آخر لهذا التصميم المحكم، وهو التسلسل المنطقي لعمل خصائص المياه، فنحن هنا لسنا أمام خصائص متنوعة تعمل كلٌّ منها على حده بشكل متوازٍ مع غيرها ومستقل عنها، بل هي تعمل بتسلسل منطقي محكم وكأنه يسير وفق مخطط مرسوم مسبقاً، وهذا التسلسل واضح جداً لو دققنا النظر في عملية الحت والتعرية من بدايتها وحتى نهايتها، فالبداية هي أن إحدى خواص الماء، (وهي كونه قادراً على التواجد بأطواره الثلاث: البخار والسائل والصلب)، تقوم بتفعيل الدورة المائية، وهذه العملية يجب أن تحدث قبل أن تقوم خواص أخرى للماء بعملية حت الصخور للحصول على التربة وأنواعها المختلفة، ولإذابة العناصر الغذائية في الماء، وحت الصخور يتبعه أن تعمل خصائص أخرى للماء من جديد، هي تلك التي تقوم بحفظ الماء وتخزينه بين ذرات التربة حتى يستفيد منه النبات ولا يتسرب إلى باطن الأرض أو يجري عائداً إلى البحر.

إن تتابع هذه الخطوات المرسومة لتحقيق أهداف محددة وبهذا الشكل المنطقي تدل بما لا يدع مجالاً للشك على وجود تسلسل منطقي وغاية محددة تعمل من أجلها كل هذه الخصائص الفريدة للماء.

---

(١) الكسارة هي الورشة التي تنشئها شركات البناء أو من يزودها بالمواد في سفوح الجبال، لتكسير الصخور وتحويلها إلى حصى ورمال لاستخدامها كمواد بناء. [المترجِم]

لقد بينا في هذا الفصل وبما لا يدع مجالاً للشك، أن ما نراه من تصميم مدهش في وظائف المياه التي توفر ظروف الحياة للنبات، ومن بعده لكل أصناف الحياة، ليس مَرده مقتصراً فقط على مجموعة الخصائص والمزايا المدهشة التي يتمتع بها الماء، بل يُضاف إلى ذلك الطريقة التي تعمل بها هذه الخصائص مجتمعة لتجعل كوكبنا قابلاً للحياة.

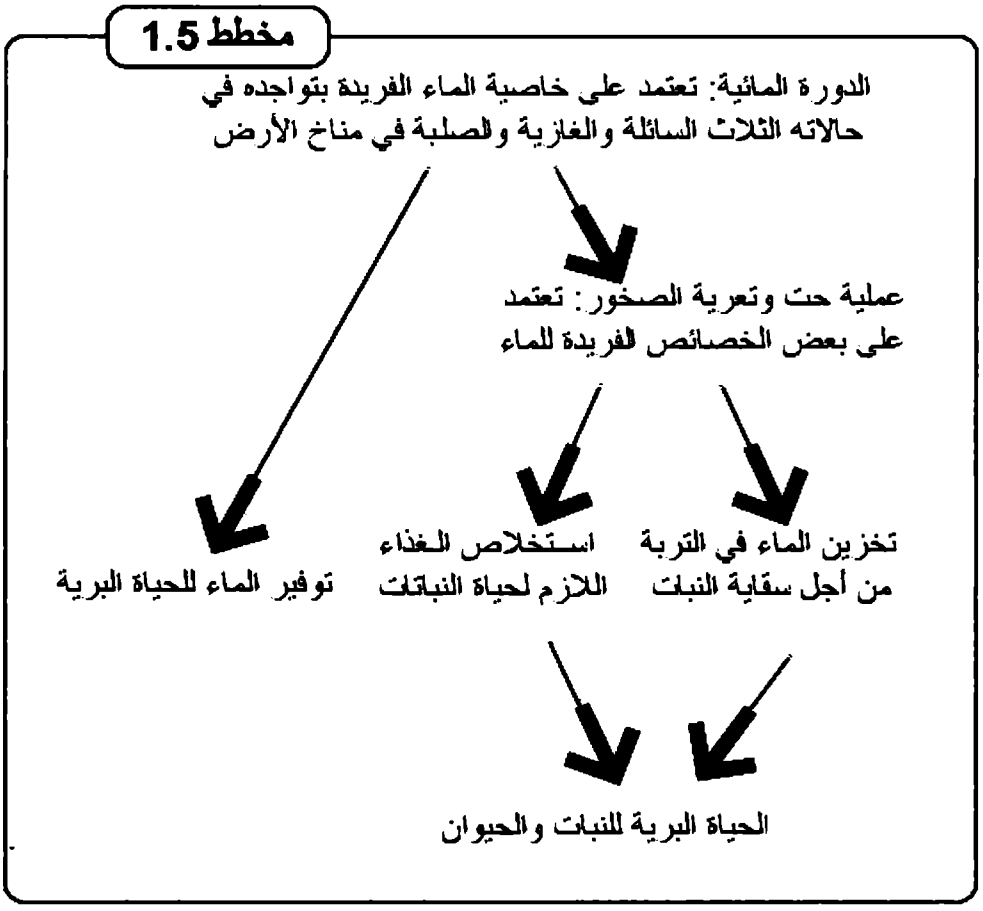
إن مجموعة الخصائص التي يتمتع بها الماء مدهشة من حيث نوعها وعددها، ولكن دورها يتضاءل أمام وضوح الغاية التي تعمل هذه الخصائص لتحقيقها وفق ترتيب منطقي لا تخطؤه عين، وهو حقيقة علمية واضحة لا تقل وضوحاً عن أي حقيقة علمية أخرى اكتشفها العلم.

ولا بد في نهاية هذا الفصل من الإشارة إلى أمر في غاية الأهمية، يتعلق بأهمية خصائص الماء للحياة، وهو أن أهمية صفات الماء في وجود الحياة لا يقتصر - كما كان يُعتقد في السابق - على كونها الصفات الأمثل للسائل اللازم لتفاعلات الكيمياء الحيوية في الخلايا الحية، فقد وجدنا أن خصائص الماء التي استعرضناها في هذا الفصل وكأنها مُصممة خصيصاً لتجعل من كوكبنا ملائما للحياة، ابتداء من الدورة المائية، مروراً بالحتِّ والتعرية، وانتهاء بحمل الغذاء للنبات ونقله، ثم حفظه في التربة.

لقد رأينا أدلة قاطعة على أن للماء أدوار في نشوء الحياة واستمرارها في مجالات متعددة وبعيدة عن بعضها بُعد الحت الذي تقوم به في جبال الأنديز، عن دورها في تفاعلات كريات الدم الحمراء.

مكتبة
t.me/t_pdf

مخطط 1.5


الدورة المائية: تعتمد على خاصية الماء الفريدة بتواجده في حالاته الثلاث السائلة والغازية والصلبة في مناخ الأرض
عملية حت وتعرية الصخور: تعتمد على بعض الخصائص الفريدة للماء
تخزين الماء في التربة من أجل سقاية النبات
استخلاص الغذاء اللازم لحياة النباتات
توفير الماء للحياة البرية
الحياة البرية للنبات والحيوان

الفصل الثاني

تجديد سطح الأرض

قد تندهش عزيزي القارئ إذا علمت أن التآكل في أخدود[1] نياغارا الشهير قد بلغ ٧ أميال (قرابة ١١ كيلومتر) على مدى ١٢ ألف سنة، وقد تم تقدير التآكل في الجبال التي تتعرض لمياه الأمطار، وللانزلاقات الجليدية بمعدل من ٢ إلى ١٠ مليمترات في السنة.[2]

يبدو هذا الرقم (١٠ مليمتر) صغيراً جداً أليس كذلك؟ ولكن بناء على هذا الرقم الصغير، لو حسبنا التآكل الذي سيحدث على مدى خمسة ملايين من السنين، لوجدنا أنه سيبلغ خمسين مليون مليمتر، أي خمسين ألف متر، أي أكثر من ستة أضعاف ارتفاع القمة الأعلى على سطح الأرض، وهي قمة إيفرست التي ترتفع ما يقارب تسعة آلاف متر عن سطح البحر، ولأصبحت الأرض خلال بضع ملايين من السنين (صعيداً جُرُزا)، أي مستوية لا جبال فيها ولا هضاب، مجرد أرض منبسطة على مستوى سطح البحر، ولتوقفت الدورة المائية التي تزود التربة بما يزيد عن عشرين عنصراً غذائياً لازماً لنمو النبات، لأن حصول التربة على تلك العناصر يعتمد كما رأينا في الفصل السابق على حت وتعرية صخور الجبال، ولكن بغياب الجبال وتضاريس الأرض بشكل عام، لن يكون هناك حت ولا تعرية أي سيختل النظام البيئي البري ولن يكون هناك غذاء للنبات، ولن تقوم

---

(١) الأخدود يشبه مجرى النهر لكن بدون قاع مستوي في أسفله، أي أن كلاً من جداريه يميلان ليلتقيا في أسفله مباشرة مثل رقم ٧ أو حرف V. [المترجم]

(٢) "Bedrock Incision, Rock Uplift and Threshold Hillslopes in the Northwestern Himalayas," Nature 379, no. 6565 (February 8, 1996): 505–10.

حياة على سطح الأرض، وبما أن الأرض ليست مستوية، والجبال ومختلف التضاريس موجودة، فهذا يعني أن ما تفقده قشرة الأرض من موادها بسبب الحت والتعرية يتم تعويضه بطريقة ما، كيف يحدث ذلك؟

صبراً عزيزي القارئ سنبين هذه النقطة بعد قليل، ولكن قبل ذلك لا بد من أن نلقي نظرة على ما يحدث في المحيطات لارتباطه الوثيق (كما سنرى) بما يحدث على البر.

الشكل 2.1 شلالات نياجرا

إن الحياة البحرية ليست بأقل حاجة للغذاء من الحياة البرية، وتحتاج إلى إمداد مستمر من الغذاء حتى تضمن بقاءها، ونحن نعلم من السجل الأحفوري أن المحيطات كانت عامرة بالحياة منذ ما يقارب أربعة مليارات سنة، وهذا يعني أن هناك بضعة وعشرين عنصراً غذائياً كانت موجودة في المحيطات بشكل ثابت ومستمر طوال هذه الفترة، والأدلة البيولوجية على ثبات المكونات الكيميائية للبحار والمحيطات أكثر وضوحاً خلال المدة التي

تمتد من العصر الكامبري[1] إلى اليوم، أي منذ خمسمائة وأربعين مليون سنة تقريباً، لأن طبقات العصر الكامبري تحتوي على أحافير كائنات بحرية مشابهة لبعض الكائنات التي تعيش اليوم، مثل المفصليات وثلاثي الفصوص والرخويات وغيرها، حتى إن أحافير العصر الكامبري التي عُثر عليها في الصين تحوي بعض الأسماك البدائية، وهذا التنوع الحيواني الذي كانت تحويه المحيطات في العصر الكامبري، ووجود أحياء مشابهة لها اليوم، يدل على أن ظروف المعيشة من الناحية الفيزيائية والكيميائية في المحيطات كانت مستقرة تقريباً على مدى تلك الحقب السحيقة من الزمن، ولا ينفي ذلك حدوث بعض التغيرات في نسبة الملوحة أو في تركيز ثاني أوكسيد الكربون، ولكنها ضمن مجالات محدودة لم يكن لها تأثير ملموس على استقرار بيئة المحيطات والتركيب الكيميائي لمياها.

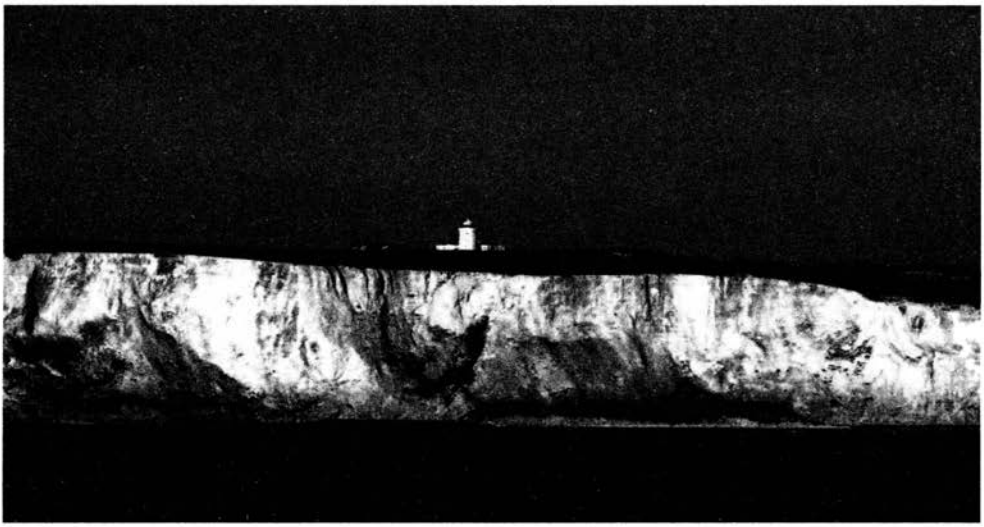
ولكن هذا الثبات والاستقرار في محتويات المحيطات يطرح إشكالاً محيراً: كيف تمكنت المحيطات من المحافظة على محتوياتها من المواد التي تتغذى عليها الكائنات البحرية على مدى مليارات السنين دون أن يصيبها النقص أو النضوب؟ وبتعبير آخر:

من أين كانت المحيطات تعوض المواد التي تتغذى عليها الكائنات البحرية؟ وكيف تقوم المحيطات بتعويض المواد الرسوبية الكربونية والكلسية التي تترسب في قاع المحيط باستمرار، والناتجة عن ترسب بقايا الأحياء البحرية، ولا سيما القشريات والكائنات الدقيقة؟ لا نستطيع الإجابة بأن المواد الناتجة عن الحت والتعرية هي التي كانت تعوض النقص، لأن الأمر لو

---

(١) العصر الكامبري هو حقبة جيولوجية تمتد ما بين ٥٤٠ إلى ٤٨٥ مليون سنة من اليوم، تتميز بالظهور المفاجئ لعدد كبير من الكائنات الحية المعقدة في طبقاتها خصوصا في البحار والمحيطات، كما أثبت علم الأحافير. [المترجم]

كان كذلك لما استمر لمليارات السنين، فالجبال كانت ستُسوّى بالأرض خلال بضع ملايين من السنين، وسينقطع آنذاك إمداد المحيطات بالغذاء اللازم للأحياء البحرية.



الشكل 2.2 الجروف البيضاء في دوفر – بريطانيا

ليس هذا فحسب، بل هناك أمر آخر يتعلق بكميات الكربون التي يتم ترسيبها في المحيطات باستمرار، إن كمية الكربون التي يتم ترسيبها في قاع محيطات الكرة الأرضية قدّرها العلماء بما يعادل اثني عشر مليون طن سنوياً، في حين أن القيمة الإجمالية لكمية الكربون التي يحتوي عليها كوكب الأرض في كل من المحيطات والغلاف الجوي تقدر بما يعادل ثمانية وثلاثين تريليون طن، وبحسبة بسيطة يتبين لنا أن ثلاثة ملايين سنة تكفي لتحويل كل الكربون الموجود على كوكب الأرض، في البر والبحر، إلى صخور رسوبية تستقر في قاع المحيط، وهذا من شأنه القضاء على الحياة البرية والبحرية بشكل كامل.

وهنا نعود إلى سؤالنا الذي طرحناه قبل قليل: رغم كل ما يحدث من حت وتعرية للقشرة الأرضية وجبالها، فإن القشرة الأرضية بتضاريسها وجبالها ما زالت موجودة، ورغم ما تستهلكه الأحياء في المحيطات من مواد غذائية، فما زالت الإمدادات تأتيها فلا تنضب، وما زال تركيب مياهها من الناحية الكيميائية ثابتاً مستقراً، ورغم الكميات الهائلة من المواد الكربونية التي تترسب باستمرار في قاع المحيطات، ما زالت أعماق المحيطات على حالها، ولم يرتفع منسوب قعرها رغم الترسيب المستمر فيه، فمن أين يأتي تعويض كل ذلك؟ كيف تستقر القشرة الأرضية ومكوناتها، وتضاريس الأرض وجبالها، ومياه المحيطات وتركيبها وغذاؤها؟ هذا ما سنجيب عنه في الفقرات اللاحقة.

إعادة تدوير القشرة الأرضية

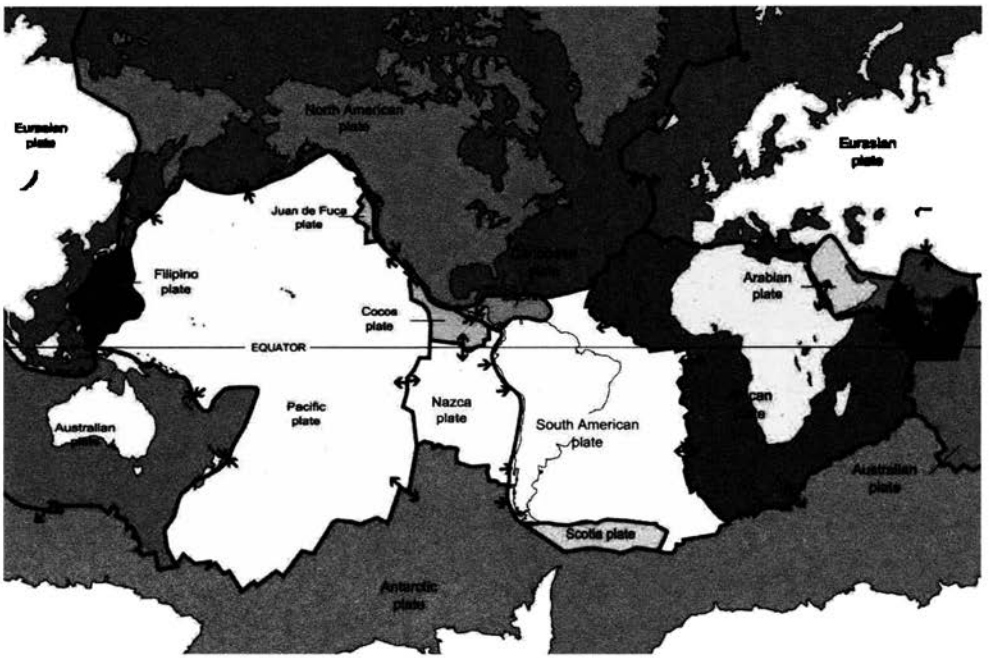
لقد بقيت الإجابة عن هذه الأسئلة لغزاً محيرا حتى منتصف القرن الماضي، عندما شهد العالم مجموعة من الاكتشافات الهامة وغير المتوقعة، غيرت تماماً نظرتهم إلى الكرة الأرضية، فحتى ذاك التاريخ كان الاعتقاد السائد أن القشرة الأرضية ساكنة لا حراك فيها، هي مجرد غلاف صخري سميك يحيط بنواة من المعادن المصهورة، إلى أن حدثت ثورة علمية جيولوجية يسميها العلماء (الثورة التكتونية)، فاكتشف العلماء ما بين عامي ١٩٥٥ و١٩٦٥ أن الكرة الأرضية تتكون من ثلاث طبقات رئيسية: القشرة الخارجية، والقشرة الداخلية والنواة.

القشرة الخارجية[١] هي الطبقة الصلبة التي نعيش عليها، وما نراه من سهول وجبال ووديان، وهي التي تمتد من البر وحتى قاع المحيطات والبحار،

---

(١) هذه هي الترجمة التي اخترناها لمصطلح The Crust . [المترجم]

وتبلغ سماكتها القصوى في المناطق الجبلية حوالي سبعين كيلومتراً، وعلى اليابسة في المناطق السهلية أربعين كيلومتراً، في حين لا تتجاوز سماكتها في قاع المحيطات خمسة كيلومترات، والأمر الجوهري الذي اكتشفه العلماء أن هذه الطبقة ليست مصمتة متماسكة من حيث البنية، وليست ساكنة من حيث الحركة، بل هي مقسمة إلى صفائح قارية ضخمة، منفصلة عن بعضها، كما أنها تتحرك فوق الطبقة التي تحتها، وهي القشرة الداخلية.



الشكل 2.3 الصفائح التكتونية، وتشير الأسهم إلى اتجاه حركة هذه الصفائح

والقشرة الداخلية[1] هي طبقة صخرية مرنة تتوضع تحت القشرة الخارجية، وقد اكتسبت مرونتها من الحرارة الشديدة التي تصلها من نواة الكرة الأرضية، وهي نواة تتكون من معادن منصهرة شديدة الحرارة، وهكذا

---

(١) هذه هي الترجمة التي اخترناها لمصطلح The Mantle وبعض المراجع تترجمها إلى كلمة (الوشاح). [المترجم]

فإن القشرة الداخلية محصورة بين القشرة الخارجية من جهة، وبين النواة من جهة أخرى، الأولى تشكل ضغطاً هائلاً عليها، والثانية تنقل إليها حرارة هائلة، ولا يجد الضغط والحرارة متنفساً إلا في الصدوع التي تفصل بين الصفائح القارية، فتضغط عليها فتتشكل بذلك الزلازل والبراكين.

خلاصة القول، لدينا نواة سائلة تتكون من معادن منصهرة، وهي شديدة الحرارة، تحيط بها القشرة الداخلية، وهي قشرة صخرية مرنة اكتسبت مرونتها بسبب الحرارة الهائلة التي تصل إليها من النواة، وتحيط بالقشرة الداخلية، القشرة الخارجية، وهي الطبقة التي نعيش عليها.

وكما أسلفنا فإن القشرة الداخلية هي طبقة عائمة مرنة تنقل الحرارة من نواة الكرة الأرضية إلى قشرتها عبر صدوع موجودة في تلك القشرة تقسمها إلى صفائح قارية ضخمة، وهذه الصفائح تتحرك أفقياً، فوق القشرة الداخلية المرنة، (سنتكلم عن سبب حركتها بعد قليل)، وينتج عن حركتها هذه ما نراه من ظواهر طبيعية كبرى مثل البراكين والزلازل.

ولم تكن حركة الصفائح القارية التي تكوّن القشرة الخارجية للأرض هي المفاجأة الوحيدة التي اكتشفها العلماء منتصف القرن الماضي، ولكن المفاجأة الأكبر كانت أن القشرة الأرضية تتجدد باستمرار، كما يتجدد جلد الإنسان، وأن ذلك يحدث عن طريق إعادة تدويرها، وقد سمى العلماء دورتها هذه بـ (الدورة التكتونية) Tectonic recycling.

الدورة التكتونية: كيف تحدث؟ وما آلياتها؟

ونتكلم الآن عن سبب حركة القشرة الخارجية، بما أن القشرة الداخلية في

تماس مباشر مع النواة المنصهرة، فإن النواة المنصهرة تقوم بتسخين القشرة الداخلية، ويؤدي هذا التسخين إلى أمرين هامين: **الأول** أن تتمتع القشرة الداخلية بالمرونة والليونة بسبب الحرارة الشديدة التي تصلها من النواة، والتي هي أشبه بموقد هائل يقوم بتسخينها، **والثاني** أنه بسبب هذه الحرارة وبسبب ليونة القشرة الداخلية - حيث تكون أقرب إلى السيولة منها إلى الصلابة - فإنها تكون في حركة دائمة، تشبه حركة الماء في وعاء نضعه على موقد، ولكن بوتيرة أبطأ، فالطبقات السفلى منها الملامِسة للنواة، تسخن بشدة فتصعد للأعلى باتجاه القشرة الخارجية للأرض، حتى إذا وصلت إلى أعلى ولامست القشرة الخارجية، انخفضت حرارتها، فتعود للهبوط باتجاه النواة، لتسخن من جديد وتصعد من جديد هكذا، تماماً مثلما يتحرك الماء في وعاء يتم تسخينه على موقد.

غير أن القشرة الخارجية كما أسلفنا ليست غلافاً مصمتاً واحداً يغلف الأرض، بل هي مقسمة إلى صفائح قارية متعددة، تطفو على سطح القشرة الداخلية المرنة، وعندما تحتك القشرة الداخلية بالقشرة الخارجية أثناء حركتها التي تسببها الحرارة، يؤدي ذلك إلى تحريك صفائح القشرة الخارجية، والضغط عليها، وهذا له آثار كبيرة نعددها في النقاط التالية:

أولاً- في قاع المحيطات:

تؤدي حركة صخور القشرة الأرضية الداخلية، المصحوبة بحرارة شديدة وضغط هائل، إلى تسرب الحمم الصخرية المنصهرة من الصدوع التي تفصل بين صفائح القشرة الخارجية في قاع المحيطات، ويصاحب ذلك تسرب مياه المحيط عبر تلك الصدوع إلى باطن الأرض تحت القشرة الأرضية لتتفاعل مع

الحمم المصهورة أثناء اندفاعها إلى مياه المحيط، وفور تسرب تلك الحمم المتفاعلة مع الماء على طرفي الصدع، تبدأ بالسيلان على أطراف الصدع، ويترافق ذلك بالتصلب التدريجي بسبب تلامسها مع ماء المحيط، فتشكل طبقة جديدة من القشرة فوق قاع المحيط، وهذه الطبقة الجديدة تمارس ضغطاً على طبقة القشرة القديمة تحتها، فتغوص هذه الأخيرة نحو القشرة الداخلية، فتتعرض للحرارة العالية، وتبدأ بالانصهار والاندماج مع القشرة الداخلية، وهكذا يتم باستمرار تبادل المواد بين القشرة الداخلية والخارجية، وهذا التبادل هو جزء هام من الدورة التكتونية، ويؤدي حدوثه ببطء شديد عبر ملايين السنين إلى تدوير كامل للصخور والرسوبيات المكونة لقشرة الأرض في قاع المحيطات.

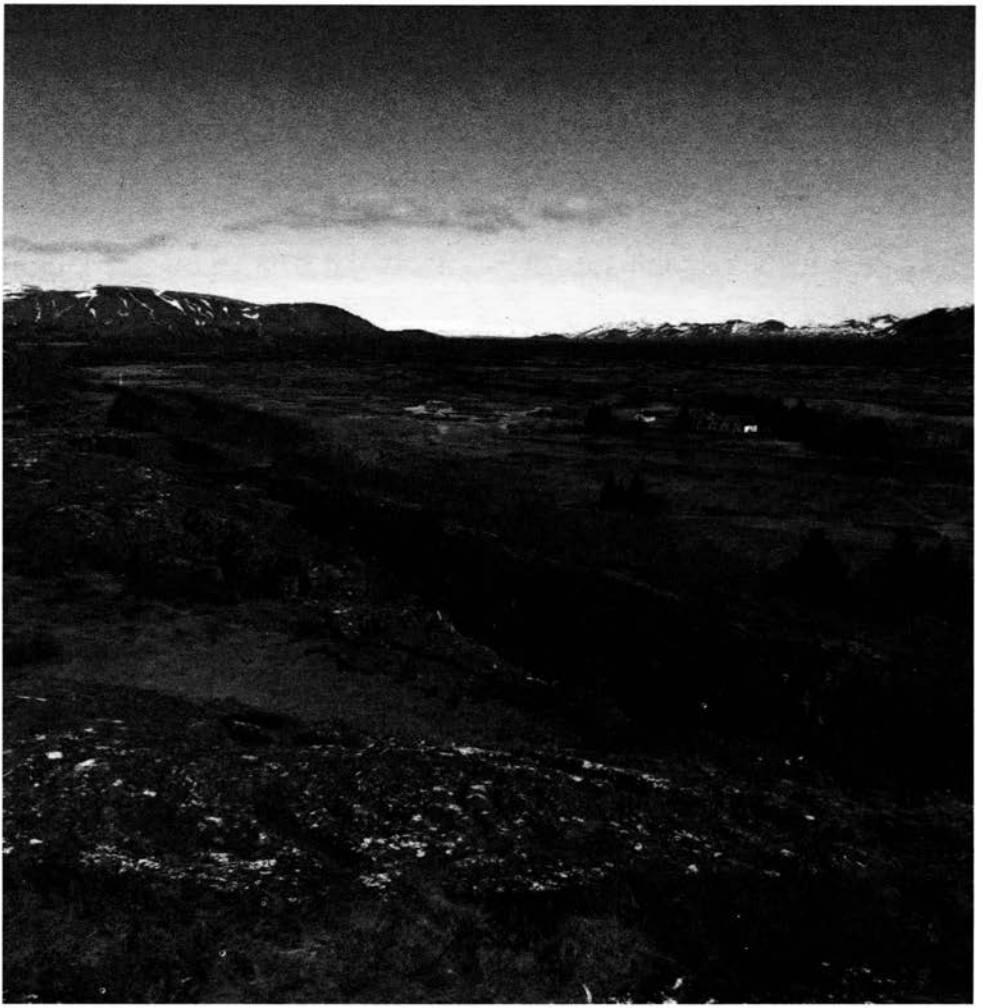
ثانياً: في القارات على سطح الأرض

إن ما نراه من وديان وجبال وبراكين وزلازل على سطح الأرض في القارات الخمس، هو من نتائج الدورة التكتونية، ونتيجة مباشرة لحركة صفائح القشرة الأرضية، فإذا تحركت صفيحتان متجاورتان حركة متعاكسة بحيث تبتعد إحداهما عن الأخرى، تنشأ الوديان والشقوق الأرضية والتصدعات، ومثال ذلك الصدع الكبير في أفريقيا[1]، أو الوادي الشهير الموجود في الحديقة الوطنية في أيسلندا، وإذا تحركت الصفائح مقتربة من بعضها، بحيث تصطدم إحداهما بالأخرى، تنشأ الهضاب والجبال، ومثال ذلك جبال الهيمالايا، التي يعتقد العلماء أنها نشأت نتيجة لحركة الصفيحة

---

(١) هو الصدع الممتد من سهل البقاع في لبنان إلى موزمبيق في أفريقيا، مرورا بوادي الأردن والبحر الميت والبحر الأحمر. [المترجم]

التكتونية الأورو-آسيوية باتجاه الصفيحة التكتونية الهندية، بالإضافة إلى أن حركة صفائح القشرة الأرضية باتجاه بعضها بعضاً تسبب البراكين والزلازل.



الشكل 2.5 وادي الحديقة الوطنية في آيسلاندا

وهناك شكل آخر من حركة صفائح القشرة الأرضية، وهو عندما تنزلق صفيحة بشكل مماس للصفيحة المجاورة، فيتشكل بسبب ذلك شرخ أو صدع بين الصفيحتين، ومثال ذلك صدع (سان أندرياس) الموجود غرب ولاية

كاليفورنيا الأمريكية، وهو يشكل نقطة تلاقي صفيحة القشرة الأرضية لأمريكا الشمالية مع صفيحة المحيط الهادي.

ثالثاً: بين المحيط والبر

هناك حالات تتحرك فيها صفيحة محيطية كثيفة وثقيلة، باتجاه صفيحة قارية قليلة الكثافة، فيؤدي ذلك إلى أن تنزلق القشرة المحيطية الكثيفة أسفل القشرة القارية باتجاه باطن الأرض، وتؤدي القوى المتولدة عن هذا الانزلاق وعن الاحتكاك بين القشرتين، إلى ظهور تغضنات في القشرة القارية، تبرز وتكبر مع الزمن لتصبح جبالاً، ومثال ذلك ما يحدث في السواحل الغربية لأمريكا الجنوبية، بسبب حركة القشرة المحيطية غرب القارة باتجاه البر، وهذه الحركة بدأت قبل ملايين السنين وأدت مع مرور الزمن إلى نشوء سلسلة جبال الأنديز[1] الشهيرة.

جدير بالذكر، أنه عندما وضع العالم ألفريد ويغينر (Alfred Wegener) فرضية أن القشرة الأرضية مقسمة إلى صفائح، وأنها تتحرك باستمرار، وذلك عام ١٩١٢م، قوبلت نظريته بالرفض من جهة علماء الجيولوجيا في العالم على مدى عقود لعدم وجود أدلة ملموسة عليها، واستمر ذلك حتى منتصف القرن العشرين، حين تمكن العلماء من الحصول على أدلة قاطعة تؤيد تلك النظرية، فتحولت نظريته إلى حقيقة علمية لا يشك فيها أحد من العلماء، وإن كانت بعض تفاصيل تلك الحركة ما زالت تتكشف يوما من بعد يوم.

---

(١) هي سلسلة جبلية تقع في جنوب غرب أمريكا الجنوبية تمتد على مسافة تزيد عن ٧ آلاف كيلومتر وبارتفاع ٤ آلاف متر. [المترجم]

العوامل المساعدة على حركة القشرة الداخلية

ذكرنا آنفاً أن حركة القشرة الأرضية الخارجية، تحدث بسبب حركة القشرة الداخلية تحتها، والتي تعود لمرونة تلك الطبقة الناتجة عن الحرارة الهائلة والضغط الكبير اللذان يؤثران عليها، غير أن الحرارة والضغط لم يكونا ليسببا تلك الحركة لولا وجود عوامل أخرى مساعدة، لولاها لما حدثت تلك الحركة رغم الحرارة والضغط، وهذه العوامل مضبوطة بشكل مدهش ودقيق، بحيث لو اختلفت عمّا هي عليه لما حدثت حركة القشرة الداخلية، والتي تؤدي إلى حركة الصفائح القارية، ومن أهم تلك العوامل: ناقلية الصخور للحرارة، وقابليتها للتمدد، وكثافتها.

فلو كانت ناقلية الصخور للحرارة أعلى مما هي عليه، لما حدث فرق في الحرارة بين أعلى القشرة الداخلية وأسفلها، ولأدّى ذلك إلى توقف حركتها.

ولو أن الصخور لا تتمدد بشكل كاف عند تعرضها للحرارة، لما حدث فرق بين كثافة الصخور في أعلى القشرة الداخلية وبين كثافتها في أسفلها، ولأدّى ذلك إلى عدم حصول الحركة المطلوبة، ولو أن القشرة المرنة كانت أكثر كثافة لما حدثت الحركة على الإطلاق.

وهكذا وجدنا حل اللغز

لقد طرحنا في بداية الفصل السؤال التالي: "**رغم كل ما يحدث من حت وتعرية للقشرة الأرضية وجبالها، فإن القشرة الأرضية بتضاريسها وجبالها ما زالت موجودة، ورغم ما تستهلكه الأحياء في المحيطات من مواد غذائية، فما زالت الإمدادات تأتيها فلا تنضب، وما زال تركيب مياهها**

من الناحية الكيميائية ثابتاً مستقراً، ورغم الكميات الهائلة من المواد الكربونية التي تترسب باستمرار في قاع المحيطات، ما زالت أعماق المحيطات على حالها، ولم يرتفع منسوب قعرها رغم الترسيب المستمر فيه، فمن أين يأتي تعويض كل ذلك؟ كيف تستقر القشرة الأرضية ومكوناتها، وتضاريس الأرض وجبالها، ومياه المحيطات وتركيبها وغذاؤها؟".

وقد أصبح حل هذه المعضلة واضحاً الآن، ومفتاحها في الدورة التكتونية التي تعيد تدوير القشرة الأرضية الصلبة في قاع المحيطات وفي القارات، فبسبب هذه الدورة يتم باستمرار تجديد القشرة الأرضية ورَدْفها بالمزيد من الطبقات الجديدة التي ترفع منسوبها، وهذا التدوير المستمر للقشرة الأرضية، يضمن استمرار تعويض ما تقوم به الدورة المائية من حت وتعرية.

وهذا معناه أن عمليات الحت والتعرية لن تستطيع أن تسوي الجبال بالأرض طالما أن القشرة الأرضية تتجدد، وطالما أن الماء يتفاعل مع الحمم التي تقذفها الصدوع المحيطية والبراكين الأرضية، وأن الجبال لن تستمر في الارتفاع مثلما هي حال جبال المريخ طالما أن عوامل الحت والتعرية تعمل عليها.

إنه توازن مدهش في عمل الدورتين، التكتونية والمائية، العامل الأساسي فيه هو الماء، الماء الذي لولاه لما كانت أي من الدورتين، ولما استقرت القشرة الأرضية بجبالها وسهولها، ولما ضمنت الأرض حصولها على ما تحتاجه من غذاء لقيام الحياة البرية، ولما حصلت المحيطات على الإمدادات اللازمة من الغذاء لاستمرار الحياة البحرية.

الشكل 2.6 بركان يقذف الحمم في هاواي

أهمية الماء في تفعيل الدورة التكتونية

غير أنه رغم الأهمية الكبيرة لتلك العوامل التي ذكرناها في الفقرة السابقة، فإن هناك عاملاً آخر هو من أهمها على الإطلاق، ألا وهو الماء بخواصه الفريدة التي لولاها لما كانت هناك دورة تكتونية، وهذا ما سنفصل فيه في الأسطر القادمة.

أولا– أثر الماء في لزوجة القشرة الداخلية

إن من أهم العوامل التي تؤدي إلى حدوث الدورة التكتونية، عامل يلعب الماء فيه الدور الرئيس، وهو لزوجة الطبقة المرنة، وهنا يأتي دور الماء، لأن

الذي يقرر قيمة هذه اللزوجة ويضبطها هو نسبة الماء في تلك الطبقة.

وحتى ندرك تأثير نسبة الماء في القشرة المرنة على لزوجتها، يكفي أن نعلم أن المكون الأساسي لتلك القشرة - وهو معدن الزبرجد الزيتوني[1]- تكون درجة صلابته أعلى مئة مرة عندما يكون جافاً، من صلابته عندما يكون رطباً، علماً أن ترطيبه لتقليل قساوته بهذه الدرجة لا يحتاج إلا إلى كمية ضئيلة جداً من الماء، تبلغ نسبتها ٥٠ ميليغرام لكل ليتر، ولتقليل قساوة الزبرجد الزيتوني أهمية عظيمة في تليين القشرة المرنة، وفي جعل قوامها مناسباً تماماً وبدقة لما تقوم به من حركة بطيئة تحت القشرة الأرضية، تؤدي في النهاية إلى تفعيل الدورة التكتونية التي شرحنا تفاصيلها آنفاً.

ثانياً: دور الماء في تخفيض حرارة الانصهار

وهو دور غاية في الأهمية، لأن وجود الماء في القشرة الداخلية، بهذه النسبة الضئيلة التي ذكرناها، يساهم بشكل فعال جداً في تخفيض درجة انصهار تلك الطبقة تخفيضاً كبيراً جداً يصل إلى ٨٨٠ درجة مئوية، وذلك لأن الماء يقوم بخلخلة الروابط الجزيئية الموجودة بين ذرات وجزيئات الصخور، ويمكن ملاحظة هذه الظاهرة بشكل خاص عندما تنزلق طبقة من القشرة الخارجية نحو باطن الأرض، فتطرح الماء الموجود فيها نتيجة الحرارة العالية، ليقوم الماء بعد ذلك بتخفيض حرارة الطبقة الداخلية المرنة، وهكذا فإن الماء يمنح الطبقة المرنة مرونتها، ويخفض من حرارة انصهارها، وهذان الأمران هما

---

(١) (الزبرجد الزيتوني) هي الترجمة العربية لاسم هذا المعدن باللغة الإنكليزية وهو Olivine وسمي كذلك بسبب لونه الأخضر الشبيه بلون الزيتون، ويتركب كيميائياً من سيليكات المغنيزيوم والحديد. [المترجم]

اللذان يمنحان للقشرة الداخلية مرونتها وحركتها، فبدون الماء لن تكون القشرة الداخلية مرنة ولن تتحرك، وبدون حركتها لا تندفع الحمم البركانية لتخرج من الصدوع في قاع المحيطات أو من البراكين على سطح الأرض، لتولد طبقات جديدة من القشرة الخارجية، والتي تدفع الطبقات القديمة إلى أن تهبط إلى باطن الأرض، وهو أمر لا بد منه لاكتمال الدورة التكتونية.

وهكذا نرى أن عملية تجديد القشرة الأرضية، أو الدورة التكتونية، مدينة بوجودها وتفعيلها واستمرارها للماء، وأن من حسن حظ كوكب الأرض احتواؤه على كميات ضخمة من الماء، ولكن كيف تحصل القشرة الداخلية المرنة على حاجتها من الماء؟ جواب ذلك يكمن في القشرة التي تغطي قاع المحيطات.

ولكن من أين تحصل القشرة الداخلية على الماء؟ سنجيب عن ذلك في الفقرة التالية.

ثالثاً: دور الماء في إعادة تدوير القشرة المحيطية

نقصد بالقشرة المحيطية هنا، ذلك الجزء من القشرة الأرضية الخارجية المغمورة بمياه المحيطات والبحار، وقد مر الكلام على عملية الدورة التكتونية وكيف تعمل في قاع المحيط، وكيف تنشأ مع الزمن قشرة محيطية جديدة من الحمم التي تتدفق عبر الصدوع الموجودة في قاع المحيط، وكيف تحل محل القشرة القديمة التي تغوص شيئاً فشيئاً لتنغمس في القشرة الداخلية، وهنا أحد مصادر الماء الموجود في القشرة الداخلية، والذي قلنا إن وجوده فيها يخفض بشكل كبير من درجة انصهارها، ويزيد من لزوجتها، ويجعلها بالتالي

طبقة مرنة متحركة، وهذا المصدر هو القشرة المحيطية القديمة، فهي عندما تغوص نحو القشرة الداخلية وتلتحم بها، تتأثر بدرجة حرارة هذه الأخيرة، فتطرح ما تحمله من ماء المحيط بسبب الحرارة، لتحصل عليها القشرة الداخلية، بالإضافة إلى أنه أثناء اندفاع الحمم من الصدوع نحو المحيط، يتشرب ماء المحيط من تلك الصدوع ليصل إلى القشرة الداخلية، فهذان هما المصدران الأساسيان للماء في القشرة المرنة: الماء الذي تطرحه القشرة الصلبة عندما تغوص باتجاه الطبقة المرنة، والماء الذي يتسرب من الصدوع أثناء اندفاع الحمم منها نحو المحيط.

ومن جميل التشبيهات، تشبيه العالم جوناثان لونين، فهو يشبه الطريقة التي تحصل بواسطتها القشرة المرنة على حاجتها من الماء عن طريق الصدع البحري، بالطريقة التي تحصل بواسطتها خلايا الجسم الحية على الماء بواسطة الشعيرات الدموية.(١)

إن تسرب الماء عبر الصدوع والشقوق الموجودة في قاع المحيطات، يصل إلى بضع كيلومترات تحت قعر المحيط، وخلال هذا التسرب يسخن الماء ويؤدي ذلك إلى أن يتفاعل مع الفلزات المكونة لطبقات القشرة الأرضية، فتكتسب بهذا التفاعل شيئاً من المرونة وتتحول مكوناتها من فلزات جافة قاسية إلى فلزات رطبة مرنة.

إن كمية الماء التي تتسرب من الصدوع المحيطية نحو القشرة المرنة عبر الزمن كميات كبيرة لا يستهان بها، ويقدر العلماء الكمية التي تعود لباطن الأرض عبر الصدوع بأنها ٣١٨ مليار طن من الماء كل مليون سنة، وهذا

---

(١) Jonathan Irving Lunine, Earth: Evolution of a Habitable World, 2nd ed. (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2013), 193.

يعني أن ماء المحيطات يتم تدويره بالكامل عبر القشرة الأرضية في زمن مقداره ٨٠ مليون سنة، وقد أوضحنا أنه لولا تسرب الماء من الصدوع المحيطية وتدويره عبر القشرة المرنة لما حدثت الدورة التكتونية واستمرت على مدى عمر الأرض، كما أوضحنا أن الحياة على الأرض ما كانت لتقوم وتستمر لولا الدورة التكتونية.

وهكذا نرى أن الماء يقدم نفسه من خلال خواصه الفريدة كمحرك ومسبب للدورة المائية التي تناولناها بالتفصيل في الفصل الماضي، نجده يقدم نفسه أيضا على أنه المفعل الأهم، والسبب الذي لولاه ولولا خواصه الفيزيائية والكيميائية الفريدة، لما اكتسبت الطبقة الأرضية المرنة مرونتها، وقد رأينا أن تلك المرونة هي المسؤولة عن حركة تلك الطبقة تحت القشرة الصلبة، ومن ثم عن تفعيل واستمرار الدورة التكتونية على مدى عمر الأرض المعروف.

ولا بد من التنويه هنا، إلى أن الآثار التي يؤدي إليها التقاء ماء المحيطات مع الحمم البركانية عبر الصدوع البحرية، لا تقتصر على ما ذكرناه في هذا الفصل، بل لهذا اللقاء آثار وأدوار أخرى مؤثرة لا غنى لكوكبنا الجميل عنها، سنتناولها في الفصل القادم.

رابعاً: دور الماء في المحافظة على التركيب الكيميائي لمياه البحار والمحيطات

هناك أدلة واضحة على أن محتوى مياه البحار والمحيطات من المعادن والفلزات والمواد الأخرى المذابة فيها، لا يمكن أن يكون مصدرها مقتصراً

على ما يصلها من الأنهار والمجاري المائية التي تصب فيها، لأنه كما جاء في موقع موسوعة الماء: "**إن نسبة ونوعية المواد المذابة في المياه العذبة للأنهار والبحيرات مختلفة بشكل كامل عن مثيلتها في المياه المالحة للبحار والمحيطات، وهذا يجعلنا متأكدين من أن التبخر الذي يحصل في المياه العذبة لا يمكن أن يحولها من حيث المحتويات إلى مياه مماثلة لمياه البحار والمحيطات**".[١]

تختلف نسبة الملوحة في البحيرات والبحار المغلقة – مثل البحر الميت أو البحيرات الكبرى في أمريكا الشمالية – بشكل كبير عن نسبة الملوحة في البحار والمحيطات المفتوحة، وهذا يدل على أن الحت والتعرية ليست هي المصدر الوحيد للملح في البحار، ذلك لأن الأملاح الموجودة في مياه الأنهار هي بشكل أساسي أملاح البيكربونات والكالسيوم، في حين أن المكون الأساسي لأملاح مياه المحيطات هو الكلور والصوديوم.

وكذلك فلو أن مياه البحار هي مجرد مياه أنهار مركزة، لكان محتوى مياه البحار من المغنيزيوم أعلى بكثير من محتوياتها الحالية، وهذه الفروق الكبيرة بين المكونات الكيميائية لمياه المحيطات والبحار المفتوحة، وبين البحيرات المغلقة والأنهار، سببها الحمم البركانية التي تتسرب وتندفع عبر الصدوع المحيطية، والتي تتفاعل مع ماء المحيط كما سبق وذكرنا، يقول مؤلف كتاب (مقدمة لفهم كوكبنا الديناميكي):

"**ينتج عن التقاء الحمم البركانية بمياه البحر تغيير في البنية الكيميائية لقشرة الأرض عند قاع المحيط، وتغيير في محتويات ماء المحيط من الأملاح**

---

(١) Martha R. Scott, "Ocean Chemical Processes," Water Encyclopedia, 2017 (accessed March 29, 2017), http://www.waterencyclopedia.com/Mi-Oc/Ocean-Chemical- Processes.html

والفلزات"،[1] وهذا هو السبب الأساسي لاختلاف الأملاح والمركبات التي يحتويها ماء المحيط عن تلك التي تحتويها مياه الأنهار والبحيرات المغلقة، ومن الأدلة الواضحة على هذا التأثير، أن التحليل الكيميائي للقشرة المرنة، يدل على احتوائها على كمية من ماء المحيط، ولمركبات كيميائية مشابهة لتلك التي تحويها مياهه، وهذا يدل على حصول تفاعل وتبادل بين تلك الطبقة وبين مياه المحيط، وعلى أهمية الصدوع البحرية وما يتدفق منها من حمم في إعطاء ماء المحيط تركيبه الكيميائي والمحافظة عليه.

وهكذا فيمكن القول بأن ما يحدث في قاع المحيط من تدفق للحمم إلى المحيط، وتسرب لماء المحيط نحو باطن الأرض، لا يقتصر دوره فقط على تدوير القشرة الأرضية في قاع المحيط، ولكن يمتد هذا الدور إلى المحافظة على التركيب الكيميائي لماء المحيط.

خامساً دور الماء في إعادة تدوير القشرة الخارجية (الصلبة)

سبق أن تحدثنا بإيجاز عمّا يحدث في قاع المحيطات، وبالتحديد في مناطق الصدوع، وعن دور ماء المحيطات الذي يتسرب عبر الصدوع إلى باطن الأرض، في تجديد وتدوير القشرة الأرضية في قاع المحيط، ونتحدث الآن عن الدور الأساسي والفريد الذي يقوم به ذاك الماء نفسه، في تكوين وتجديد القارات، أي تكوين وتجديد القشرة الأرضية الصلبة خارج المحيطات، والتي لا بد منها لنشوء واستمرار الحياة البرية، ويعبر الباحث بيل برايسون تعبيرا طريفاً عن حالة الأرض إذا لم تتكون القارات فيقول:

---

(١) Nick W. Rogers, An Introduction to Our Dynamic Planet (New York: The Open University / Cambridge: Cambridge University Press, 2008), 193-149.

"يمكن أن نشهد ظهور كائنات حية في المحيطات، ولكننا بالتأكيد لن نشهد فيها أي مباراة في كرة القدم".[١]

لقد رأينا في الفصل الأول من هذا الكتاب أهمية الدور الذي يلعبه الماء في حت وتعرية الجبال، واستخلاص المعادن والفلزات اللازمة لتغذية النباتات منها، ونقل تلك المواد إلى السهول، وتخزينها في التربة، لتمتصها في النهاية جذور النباتات، والمدهش أن الماء الذي يقوم بحت الجبال وتعريتها، هو نفسه الذي يساهم في إنشاء تلك الجبال.

وسر ذلك أن الماء هو أحد المكونات الأساسية للصخور المنصهرة التي تصلبت في الماضي وتكونت منها القارات والجبال، والتي ما زالت عاملاً هاماً في تفعيل واستمرار الدورة التكتونية، وهي الدورة التي كانت بدايتها في الأزمان الساحقة هي الخطوة المصيرية الأولى في تشكيل القشرة الأرضية. وهكذا يدهشنا الماء من جديد، فهو يساهم في نشوء الجبال، ويساهم أيضاً في حتها وتعريتها واستخلاص غذاء نباتات الأرض منها.

إن التفاعلات الكيميائية والتغيرات الجيوفيزيائية التي تحدث لتؤدي في النهاية إلى تجديد القشرة الأرضية، هي معقدة جداً وليس مجال شرحها هذا الكتاب، وقد مررنا على أطراف منها آنفاً في هذا الفصل، والذي يهمنا هو أن هذه التفاعلات والتغيرات، والتي يمثل الماء عنصراً أساسياً في تفعيلها واستمرارها، تكون نتيجتها في النهاية تشكيل قشرة الأرض الخارجية ذات البنية الغرانيتية الصلبة، وتُعبّر العالمة بيورنيرود عن ذلك في كتابها (قراءة الصخور) بقولها: "**الصخور الغرانيتية هي نتيجة لتقطير الأرض**"،[٢] ورغم

---

(١) Bill Bryson, A Short History of Nearly Everything (2003).

(٢) Marcia Bjornerud, Reading the Rocks (New York: Basic Books, 2005) 115.

التقدم العلمي الكبير في هذا المجال، مازالت بعض تفاصيل هذه العملية غير واضحة تماماً، ولكن مراحلها الأساسية ونتائجها النهائية والمواد الداخلة فيها معروفة، يلخصها العالمان كامبل و تايلر في ورقتهما البحثية عام ١٩٨٣م والتي جعلاها بعنوان: "**بدون ماء: لا غرانيت، لا محيطات، لا قارات**"،[١] ومن أهم ما يستدلّان به على صحة قولهما هذا، أن الكوكب الوحيد في المجموعة الشمسية الذي يحتوي على كميات هائلة من الماء وعلى صخور غرانيتية في المجموعة الشمسية هو كوكب الأرض.

ولكن يبقى لدينا لغز لا بد من أن نجد له حلاً، وهو أن الصدوع البحرية والبراكين الأرضية مستمرة في قذف الحمم إلى الأرض، وهذه بالتعاون مع الدورة التكتونية التي أحد عواملها تفاعل القشرة الصلبة مع القشرة المرنة، وحركتها المستمرة، وما يحدث من احتكاك بين صفائح القشرة الأرضية التي تحدثنا عنها سابقاً، ولأن الغرانيت المتكون من الحمم المندفعة بعد تفاعلها مع الماء وتصلبها هو أخف من صخور الطبقة المرنة، فإن ذلك كله سيؤدي عبر الزمن إلى أن تستمر الجبال في الارتفاع، وإلى أن نرى القشرة الصلبة بشكل عام تزداد سماكتها مع الوقت ويزداد ارتفاعها عن سطح البحر، فلماذا لا يحدث ذلك؟

إن أعلى قمم الأرض هي جبل إيفرست بارتفاع ٨٨٠٠ متر عن سطح البحر، بينما يبلغ ارتفاع جبال الأوليمبوس على سطح المريخ ٢٢٠٠٠ متر، فأين الجواب عن هذا اللغز؟ لماذا لا تنمو القشرة الأرضية الصلبة عبر الزمن كما يحدث في المريخ؟ كيف تتخلص الأرض من الطبقات الزائدة التي تحصل عليها نتيجة لاندفاع الحمم البركانية وللدورة التكتونية؟ الجواب كما تقول

---

(١) I. H. Campbell and S. R. Taylor, "No water, no granites—No oceans, no continents," Geophysical Research Letters 10 (1983).

العالمة بيورنيرود هو كلمة واحدة: الأمطار.[1]

ومرة أخرى، يأتي الماء لينقذ الموقف، وبتعبير أدق، تأتي الدورة المائية لتنقذ الموقف، فهي تقوم بعملية الحت والتعرية، فتأخذ من الجبال والقشرة الأرضية ما تقوم بِحَتِّه وتعريته من مواد، لتجرفها نحو الوديان والأنهار، فبعض الأنهار تقذف ما تحمله من نواتج الحت في المحيطات إلى مسافات تبعد مئات الأميال عن السواحل القارية، ليستقر بها المطاف على شكل رواسب في قاع المحيطات، ثم تعود لباطن الأرض عبر الصدوع، وهكذا دواليك: تدور قشرة الأرض، المطر يحت ويجرف، والصدوع والبراكين تثور وتقذف، وأينما نظرنا في أي مرحلة من الدورتين: المائية والتكتونية، نجد أن الماء هو صاحب الأدوار الحاسمة في كل مرحلة.

ولا غرابة في ذلك، إنه الماء مرة أخرى يا سادة.

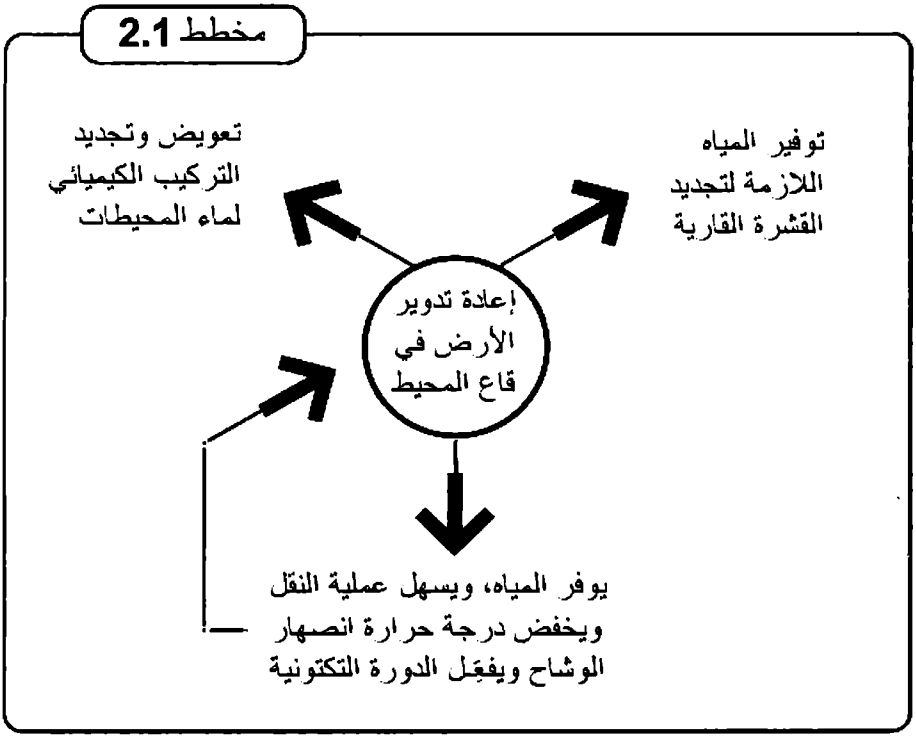
فلولا خصائص الماء الذاتية لما تشكل الغرانيت الخفيف والفلزات المعدنية، وهما المكون الأساسي للقشرة الأرضية الصلبة، أي للقارات والجبال وكل ما على سطح الأرض خارج المحيطات، ولولا الخصائص الذاتية الفريدة للماء، لما كانت هناك دورة مائية (تحدثنا عنها في الفصل السابق)، حيث تحمل الغذاء لتربة الأرض فتنشأ الحياة وتستمر، فالماء إذن يقوم بدور أساسي لا غنى عنه في توفير شرطين أساسيين لقيام الحياة البرية: **الأول** هو إنشاء القارات، **والثاني** هو نقل الغذاء اللازم لها لتقوم الحياة، والماء هو الذي حل لنا اللغز الذي تحدثنا عنه آنفاً.

مكتبة
t.me/t_pdf

---

(1) Ibid., 126.

مخطط 2.1



الماء عطية ومنحة

يقول العالم فيليب بيل: "**إن الماء هو من أهم العوامل التي تعطي الطبيعة من حولنا مظهرها وعناصرها التي نعرفها، الماء يمنح المرتفعات تضاريسها، وينحت للأنهار مجاريها، وبسببه تتآكل الصخور على السواحل لتتشكل الكهوف والتجاويف التي لا تلبث أن تنهار، والماء هو الذي يجرف الرمال نحو السواحل ليشكل الشواطئ الرملية، وعندما ينحدر الماء من الجبال، يقوم في طريق انحداره بنحت تشكيلات صخرية غاية في الروعة، والماء يفلق الصخور عندما يتردد بين الذوبان والتصلب في مسامها، فيصنع منها الحصى، والماء تتشكل منه الأنهار والجروف**

الجليدية التي تحفر الوديان وتنقل الأحجار لمسافات شاسعة".[1]

هو الماء إذن صانع العجائب على كوكبنا، الماء هو الذي نحت القمم الحادة الرائعة لجبال باتاغونيا Patagonia في أمريكا الجنوبية، والماء بجروفه الجليدية هو الذي حفر الوديان العميقة في جبال يوسيميتي Yosemite في كاليفورنيا وفي جبال الألب في أوروبا، الماء هو الذي يتدفق أفقياً في حوض الأمازون، ويتدفق عمودياً في شلالات نياجرا، الماء هو الذي لعب الدور الأساسي في حت الأرض وتعريتها لتكوين تنوعها التضاريسي، من جبال ووديان وقمم وأنهار، ولولا هذا الدور الهام للماء لكانت الأرض مجرد سطح مستوٍ لا تنوع فيه، ولما كان هناك سلاسل جبلية عظيمة مثل الهيمالايا أو الألب، ولما وجدنا هذا التداخل الجميل بين البر والشواطئ، ولما وجدنا المرتفعات والمنحدرات، والسهول والكثبان الرملية، وأخيراً، لولا الماء لما كنا بالتأكيد موجودين لنشهد كل ذلك، لأن الماء الذي يقوم بكل تلك الأعمال العجيبة عن طريق مساهمته الأساسية في الدورة التكتونية، هو نفسه الذي يقوم بالدورة المائية، والتي رأينا أنه لولاها لما كانت هناك حياة على الأرض. فيا لها من عطايا وهبات مجانية يقدمها الماء لكوكبنا ولكل كائن حي يعيش عليه.

أهمية الدورة التكتونية

إن الدورة التكتونية هي التي بسببها يتم سنوياً احتباس الملايين من أطنان الكربون والفوسفور والنيتروجين وغيرها من المواد الأساسية للحياة، في

---

(١) Philip Ball, H_2O: A Biography of Water (London: Weidenfeld and Nicolson, 1999), 23.

الرواسب التي تحدث في قاع المحيطات، وهذه المواد تعود من جديد إلى الأرض على شكل فلزات في الصخور، وغازات في الهواء، وأوراق في الأشجار، وقطعان من الأحياء المائية والأسماك في البحار.

الدورة التكتونية إذن هي التي تفسر استمرار وجود القارات رغم عمليات الحت والتعرية المتواصلة، لولاها لأصبحت الأرض قاعا صفصفاً مستوية على مستوى سطح البحر، وهي التي تفسر قدرة الدورة المائية على تعويض المواد الغذائية اللازمة لاستمرار الحياة، والتي تمتصها جذور النباتات، وهي التي تفسر لنا لماذا لا تنضب الموارد الغذائية اللازمة للحياة في المحيطات، على مدى مليارات السنين.

ويمكن القول باختصار، إن سرعة الدورة التكتونية في تعويض ما تفقده الصخور بسبب الحت والتعرية، وما تفقده المحيطات بسبب الترسيب في قاعها، لا تقل عن سرعة الأولى في الحت، وسرعة الثانية في الترسيب.

هل تعلم عزيزي القارئ أن سلسلة جبال الهيمالايا هي إحدى نواتج الدورة التكتونية؟ وأن الدورة التكتونية هي التي تحافظ على تلك الجبال، وتعوض الحتّ الذي تقوم به الأنهار والأمطار، ومنها نهر الهندوس، الذي يحت في شرق الهيمالايا ما يعدل ١٠ ميليمترات سنويا؟ وأن هذه الدورة كانت وما زالت قادرة على تزويد الحياة البرية بما يلزمها من مواد غذائية منذ نشوء الحياة البرية قبل حوالي ٤٠٠ مليون سنة؟

مع تقدم المعرفة بآليات الدورة التكتونية، أصبح من الواضح أهمية الدور الجوهري الذي يلعبه الماء في تفعيل تلك الآليات، وقد ثبت للعلماء كما سنرى أنه لولا دور الماء لتوقفت حركة صفائح القشرة الأرضية منذ زمن طويل.

إن كوكب الأرض هو الكوكب الوحيد في المجموعة الشمسية، الذي يحتوي على محيطات وبحار وكميات ضخمة من المياه، وهي السبب الأساسي الذي يؤدي إلى حدوث الدورة التكتونية على الأرض، أي إنه هو الكوكب الوحيد الذي يقوم بعملية تدوير وتجديد لمكونات طبقاته المختلفة، وبصيانة بيئته ليحافظ على شبابه، والسر في ذلك كما تقول العالمة مارسيا بورنيرود: "**سر جمال الأرض هو الماء، بل الكثير من الماء**".[١]

خلاصة البحث:

يتضح لنا بجلاء بعد ما رأيناه من أدلة علمية في هذا الفصل، أن دور الماء مؤثر جداً ومفاجئ جداً، وكما تصفه العالمة مارسيا بيورنيرود: "**إن جميع مراحل عملية تدوير القشرة الأرضية، (الدورة التكتونية)، يعتمد تفعيلها وترابطها وتسلسلها، وبطرق غاية في الذكاء، على الماء، فنلاحظ مثلاً أن تحطيم أجزاء من قشرة الأرض في قعر المحيط في مناطق الصدوع ثم انغماسها داخل القشرة المرنة، يؤدي في النهاية إلى تشكيل القشرة الصلبة القارية اعتماداً على خصائص الماء الذي يتدخل في ما يجري من تفاعلات في القشرة المرنة، وكذلك فإن الماء يقوم بالتحطيم البطيء للقشرة الصلبة في القارات، عن طريق الحت والتعرية، لينتهي المطاف بالمواد التي تنتج عن ذلك إلى قاع المحيطات ثم إلى القشرة المرنة، لتبدأ دورة جديدة من تجديد القشرة الأرضية**"، ثم تلخص العالمة نفسها بلغة لا يخفى فيها تأكيدها على أن هذه الدورة لا بد من وجود غاية وراء تصميمها

---

(١) Marcia Bjornerud, Reading the Rocks: The Autobiography of Earth (New York: Basic Books, 2005), 114.

بهذا الإبداع: "**يا له من نظام فعال ورائع ومستدام وذكي، لو شارك بأية مسابقة لأفضل تصميم صناعي فلا شك أنه سيفوز بالجائزة الكبرى**".[١]

لقد رأينا أن المراحل الثلاثة الرئيسية في الدورة التكتونية تعتمد بشكل أساسي على الخواص الفيزيائية والكيميائية للماء وهذه المراحل هي إنشاء وإعادة تدوير القشرة الأرضية في قعر المحيط، إنشاء وإعادة تدوير القشرة الصلبة في القارات، والحركة المتولدة في القشرة المرنة، ولا يعرف العلم والعلماء أي سائل آخر يمتلك من الخواص الفيزيائية والكيميائية ما يمكنه من القيام بهذا الدور الي يقوم به الماء، لولا وجود الماء لما وجدت على كوكبنا أي دورة جيوفيزيائية تسمح بوجود الحياة، ودعوني أستعير كلام فولتير Voltaire مع بعض التعديل: "**لو لم يكن الماء موجوداً لكان يجب أن يتم اختراعه**".[٢]

لا تقتصر عجائب الدورة التكتونية على أن جميع مراحلها تعتمد على الماء – وإن كان ذلك فيه من العجب ما يكفي – ولكن أعجب ما في الأمر أن كل مرحلة من تلك المراحل تعتمد على المرحلة التي قبلها، وكلها تعتمد على الماء، بحيث يشكل الماء ما يشبه محرك الدفع الأول والأهم لكل هذا النظام المتكامل، فالماء هو الذي كان وما زال يُفعّل هذه المراحل واحدة بعد الأخرى في تسلسل عجيب وتنسيق رائع على مدى مليارات السنين، ما أدى لنشوء واستمرار الحياة في البر والبحر.

---

(١) Ibid. 130–131.

(٢) قام المؤلف بتعديل تعبير فولتير في قوله: "لو لم يكن الإله موجودا لكان من الضروري اختراعه" أي لأهمية وجود الله في ضبط حياة وأخلاق البشر وحسابهم على الأعمال بعد الموت، والمقولة أخذها من رسالة شعرية لفولتير كتبها عام ١٧٧٠م بعنوان (رسالة إلى مؤلف كتاب الدجالين الثلاثة) Épître à l'Auteur du Livre des Trois Imposteurs. [المترجم]

لقد رأينا في الفصل السابق أن وجود الماء بأطواره الثلاث: الجليد والسائل والبخار - بالإضافة لخصائص فيزيائية وكيميائية أخرى - كانت عوامل لا بد منها ليقوم بالدورة المائية، والتي تضمن بعملية الحت والتعرية على أكمل وجه - وبطريقة لا يمكن التغاضي عن تسلسلها الهرمي وغائيتها - تأمين الظروف المناسبة لقيام واستمرار الحياة.

ورأينا في هذا الفصل أن الدورة المائية ما كانت لتقوم لولا تهيئة الأرض لها بواسطة الدورة التكتونية - التي تقوم بإنشاء وتدوير القشرة الأرضية - وهذه أيضاً -شأنها شأن الدورة المائية- تعتمد اعتمادا عجيباً على الماء وخصائصه الفيزيائية والكيميائية، فالماء إذن هو الذي يجعل الدورة التكتونية ممكنة، وهو الذي يجعل الدورة المائية ممكنة، وهو الذي يجعل حياة الخلايا القائمة على الكربون ممكنة (سنرى ذلك في الفصل السابع)، وهو الذي يجعل الظروف الفيزيولوجية اللازمة لحياة الثدييات، بما فيها الإنسان، ممكنة، ياله من عجب لا ينقضي.

ومن أعجب العجب، أن هذه الدورة تقوم على مبدأ السببية، (أي كل مرحلة منها تكون سببا للمرحلة التالية)، أو بعبارة أخرى تصنع نفسها بنفسها، وتلك ميزة مدهشة لا بد لها من شرح وبيان، وقد سبق أن شرحنا بالتفصيل كل مرحلة من مراحل هذه الدورة، وما سنحاول إيجازه الآن هو العلاقة السببية بين كل مرحلة وما قبلها وما بعدها، بإيجاز شديد:

إن حرارة ومرونة وحركة الطبقة المرنة، (المرحلة الأولى)، تؤدي إلى نشوء طبقات جديدة من القشرة الأرضية عند الصدوع في قاع المحيط بسبب اندفاع الحمم من تلك الصدوع في مياه المحيط، (المرحلة الثانية)، وهذا يؤدي إلى أن تنغمس الطبقات القديمة في باطن الأرض نحو الطبقة المرنة بفعل

ضغط الطبقات الجديدة فوقها، وبفعل ما رأيناه من حركة القشرة الأرضية المنقسمة إلى صفائح قارية، ويؤدي انغماس الطبقات القديمة في باطن الأرض مع ما تحمله من مياه، إلى تشكل الصخور الغرانيتية الخفيفة، وهي المكون الأساسي للقشرة الأرضية في القارات، (المرحلة الثالثة)، وبعد تشكل القشرة الأرضية الصلبة، تقوم مياه الأمطار بعملية الحت والتعرية لتحمل تجاه المحيطات المواد التي قامت بتعريتها، فتستقر هذه المواد في قعر المحيط ليكون مصيرها من جديد أن تعود لباطن الأرض عبر الانغماس في الطبقة المرنة في مناطق الصدوع المحيطية (المرحلة الأولى من جديد)، وهكذا تستمر هذه الدورة العجيبة، لتكون كل مرحلة منها سبباً للمرحلة التي تليها، وحتى نتصور مدى الإبداع والسببية والغائية في تصميم نظام كهذا.

ودعونا ننظر في أي نظام صناعي معقد معروف، طائرة جامبو مثلاً، نعلم أن أجزاء الطائرة النفاثة تعمل مجتمعة لتحقيق الهدف من تصميمها وهو الطيران، ولكن هل يمكن أن نقول إن تلك الأجزاء يصنع بعضها بعضاً؟ أو يؤدي بعضها إلى تفعيل عمل البعض الآخر؟ الجواب لا بالتأكيد، فمثلاً إن محرك الطائرة النفاثة لا يلعب أي دور في صناعة أجنحتها التي لا بد منها للطيران، والأجنحة لا تساهم بأي دور في صناعة الذيل الذي يوجهها، ولا العجلات التي تهبط بها، أما نظام الدورة التكتونية والدورة المائية، فإن كل جزء منها يقوم بصناعة الجزء التالي، ويكون سببا في تفعيله والقيام بدوره في الوصول بالنظام إلى غايته.

هذا مثال فقط، على أنه لا يوجد أي آلة من صنع الإنسان - بما في ذلك أكثر الحواسيب تعقيداً وذكاء - تتركب من أجزاء يساهم بعضها في تصنيع البعض الآخر، إن الدورة التكتونية تمثل نظاماً مدهشاً، فهو بالإضافة

إلى كونه فعال ورائع ومستدام وذكي، يتميز بأن مراحله وأجزاءه يصنع بعضها بعضا، وهو بذلك يتفوق على أي نظام صناعي بشري معروف.

لدينا ما يكفي من البراهين على أن هذا النظام هو نتيجة تصميم حكيم محكم، يتكون من عناصر مختلفة، ولكنها اتحدت لتصل إلى غاية واحدة، وهي ملاءمة الأرض للحياة، ثم ضمان استمرار تحقيق هذه الغاية عن طريق عمل النظام المستمر على مدى مليارات من السنين.

هل يمكن لنظام كهذا أن يَنتج عن صِدام أعمى بين ذرات المادة؟ وهل يمكن أن يكون تمتُع الماء بكل ما رأيناه من خصائص وميزات منضبطة بدقة شديدة لتحقيق هذه الملاءمة مجرد مصادفة سعيدة؟
أضف إلى كل ذلك، ما سنراه في الفصول القادمة من أدلة مذهلة تؤكد ملاءمة طبيعة الأرض لقيام واستمرار الحياة.

إن الطريقة التي يعمل بها نظام الدورة التكتونية، يذكرنا بتحديد الفيلسوف الشهير (كانط Kant) في كتابه (نقد مَلَكة الحُكم Critique of Judgement) لأهم صفة تتميز بها أنظمة الكائنات الحية، ويطلق عليها مصطلح (غاية الطبيعة).

حيث يعتبر أن الأنظمة التي يؤثر كل جزء منها في تكوين غيره من الأجزاء، هي مساهمة بعض أجزاء النظام في تكوين البعض الآخر، ويضرب على ذلك مثالاً في ساعة اليد، التي ليست سوى نظام من مجموعة تروس تعمل معا لتكون آلة لتحديد الوقت، يقول (كانط): "**لا يقوم أي ترس من تروس الساعة بإنتاج أو تصنيع أي ترس آخر، فمن باب أولى أن أي ساعة لا تقوم بتصنيع ساعة أخرى، فهي إذن ليست سوى آلة صناعية لا حياة فيها، أما ما يميز أي نظام في أي كائن حي، هو أنه يمتلك ميزة**

السببية المتبادلة بين أجزائها المختلفة"،[1] ويعني (كانط) بذلك، أن كل جزء في أي نظام حيوي قد ساهم في تصنيعه جزء آخر من ذلك النظام، وهو بدوره سبب في نشوء جزء ثالث، فكل جزء من أجزاء النظام الحي، يتأثر بغيره، ويؤثر بغيره.

المثل الذي ضربه (كانط) في ساعة اليد، ينطبق على أي آلة، بما في ذلك الطائرات والسفن الفضائية، إذ لا توجد آلة من صنع الإنسان، تم إنتاجها حتى الآن بما في ذلك الروبوتات الأكثر تقدمًا والآلات الذكية، تتكون من أجزاء يقوم بعضها بإنتاج البعض الآخر.

إن الدورة التكتونية تقدم لنا أدلة ساطعة على أن هناك تصميماً بديعاً محكماً يكمن وراءها، إذ كيف يمكن لمثل هذا النظام البديع الذي يتألف من عناصر مختلفة ولكن متكاملة، يؤدي عملها معاً بدقة وانتظام إلى ملاءمته الفريدة للحياة، والذي صاغ شكل الأرض ومواصفاتها الملائمة للحياة على مدى مليارات السنين، والذي يتجاوز في قدراته الذاتية التكوينية المتبادلة أي نظام صنعه الإنسان حتى الآن.

كيف يمكن له أن ينشأ من الاصطدامات العمياء للذرات؟

وكيف يمكن أن تكون صفات الماء المتعددة التي رأينا أنه تم ضبطها بدقة متناهية لتدوير نظامين متكاملين متعاونين على توفير شروط الحياة على كوكبنا والمحافظة عليها، كيف يمكن أن يكون ذلك، مجرد مصادفة؟

---

(١) Immanuel Kant, Critique of Judgement, trans. J. H. Bernard (London: Macmillan and Co., 1914).

كيف إذا علمت عزيزي القارئ أن هذا كله غيض من فيض، وأننا سنرى المزيد من الأدلة على ملاءمة الطبيعة للحياة على الأرض في الفصول التالية من هذا الكتاب.

الفصل الثالث

المحافظة على المحيطات

من عجائب الماء المذهلة، أن خصائصه الفريدة هي من أهم أسباب المحافظة على المحيطات التي يعود وجودها إلى ما قبل وجود الحياة على الكرة الأرضية، وإليكم التفاصيل.

إذا علمنا أن أقدم أشكال الأحياء التي كشفت عنها الأحافير، هي نوع من البكتيريا لا يعيش إلا في البحار والمحيطات، وما زال موجوداً إلى اليوم، وأن أقدم أحافيره عمرها ٣.٧ مليار سنة، فهذا يعني أن المحيطات كانت موجودة على الأرض قبل ذلك التاريخ.

وقبل الحديث عن المحيطات، نقول لمن أراد أن يشاهد أقدم أنواع الحياة على الأرض، إنها مازالت موجودة اليوم في منطقة المد والجزر على طول شاطئ هاملين بول Hamelin Pool، وهي بحيرة مالحة في خليج القرش Shark Bay غرب أستراليا، حيث تقع المئات من التشكيلات العجيبة، عمودية الشكل، شبيهة بالصخور كما في الشكل ٣.١، قد يصل ارتفاعها إلى متر واحد أحياناً، وهي تشكيلات طبقية أو شريطية تراكمت على مدى ثلاثة أو أربعة آلاف عام نتيجة نشاط أغشية حيوية بكتيرية مكونة من نوع من البكتيريا البدائية، والتي يؤدي تراكمها على طبقات واحدة فوق الأخرى عبر السنين إلى إنتاج تلك الأشكال الناتئة من الماء التي تشبه الأعمدة القصيرة، وهذه البكتيريا التي تعيش اليوم، وجد العلماء أحافير لها في تشكيلات صخرية تقع غرب أستراليا، يعود عمر بعضها إلى ٢.٧ مليار سنة، وعمر بعضها الآخر إلى ٣.٤ مليار سنة، أما أقدمها وجوداً على

الأرض، والتي أشرنا إليها آنفاً وقلنا إن عمرها ٣.٧ مليار سنة، فقد عثر عليها العلماء حديثاً جداً في سواحل جزيرة غرينلاند القطبية المعروفة.

والسؤال الهام الذي يطرح نفسه: ماذا يعني استمرار الحياة البحرية لهذا النوع من البكتيريا وأمثالها على مدى حوالي أربعة مليارات سنة؟ الجواب الواضح لهذا السؤال هو أن تلك الحياة ما كانت لتستمر لولا أن التركيب الكيميائي للمحيطات قد احتوى حتماً على كل العناصر اللازمة للحياة طوال تلك الفترة، وهذا دليل قوي على كفاءة عملية إعادة التدوير لمواد القشرة الأرضية، ويعني أيضاً أن المحيطات نفسها التي قامت بها تلك الحياة كانت موجودة بالضرورة طوال تلك الفترة الساحقة في القدم إلى اليوم، وأن درجة حرارة الغلاف الجوي والغلاف المائي، ظلت بلا شك قريبة من درجات الحرارة الطبيعية.

الشكل 3.1 أقدم أحافير معروفة لكائنات حية في غرب أستراليا

وهذه الحقيقة يؤكدها جيمس لوفلوك James Lovelock مستشار الغلاف الجوي السابق بوكالة ناسا، حيث يشير إلى أن الوجود المستمر للمحيط منذ تشكُّل الأرض موثق أيضا على الطبقات الضخمة من الرواسب البحرية التي وجدها الجيولوجيون، ويؤكد أيضاً أنه يوجد أدلة على أن حجم المحيطات ظل ثابتاً نسبياً طوال تلك الفترة من الزمن.

المحيطات إذن وُجدت في وقت مبكر من عمر الأرض، ووجودها لا بد منه قبل أن تكون هناك عملية إعادة التدوير التكتونية وما بعدها، وقبل أن تتكون القشرة القارية، وقبل أن تتمكن عملية إعادة التدوير التكتونية من تجديد ما تحويه المحيطات من معادن، وقبل أن توجد الدورة المائية وعملية تعرية الصخور لتخصيب الأرض، وقبل أن توجد التربة والنباتات واليابسة، ولابد من وجود المحيطات أيضا قبل أن تكون الأرض مؤهلة لاستقبال كل أنواع الحياة البحرية والبرية التي عمّرتها على مر العصور.

إن المحافظة على وجود المحيطات، وعلى درجة حرارة كوكب الأرض، هما شرطان متلازمان لا بد من توفرهما معاً باستمرار لنشوء الحياة واستمرارها، فما هي العوامل التي أدت إلى المحافظة على هذين الشرطين بشكل دائم لمدة أربعة مليارات سنة تقريباً؟ تقول العالمة مارسيا بيرنيرود في كتابها (قراءة الصخور): "**لا نعلم الإجابة الكاملة عن هذا السؤال، ولكن الذي نعلمه أنه لولا هذا التوازن المدهش لما كنا موجودين اليوم لنقوم بهذا التساؤل، وأنه لا يمكن للحياة الواعية أن تنشأ إلا على كوكب دأب على العطاء بمحبة لسكانه**".[1]

---

(١) Marcia Bjornerud, Reading the Rocks: The Autobiography of the Earth (Cambridge, MA: Westview Press, a member of the Perseus Books Group, 2005), 8.

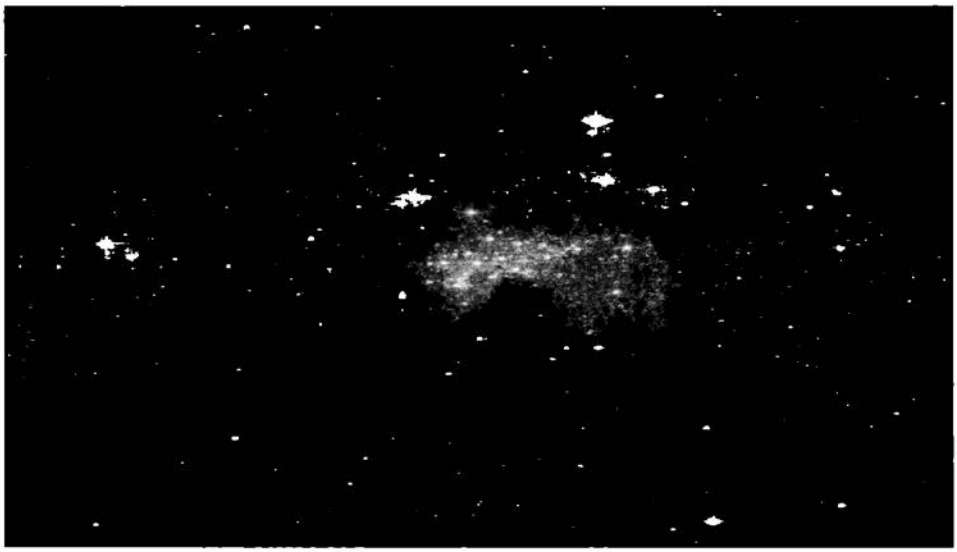
وقد أثار هذا الاستقرار الاستثنائي للمحيطات ولبيئة الأرض البرية والمائية الإعجاب الشديد للعالم لوفلوك، وهو من المرجعيات العالمية في علم المناخ، لدرجة أنه افترض أن الأرض قد تكون كائناً حياً خارقاً ذاتي التنظيم، وعندما لا يجد هذا العالم الكبير إلا هذا الافتراض ليعبر عن مدى انبهاره بالتوازن الدقيق بين المحيطات ومناخ الأرض وحرارتها وبيئتها، فهذا معناه أننا حقاً أمام كوكب خارق في تنظيمه وتوازنه، وسنرى في هذا الفصل، أن الحفاظ على الماء بشكله السائل على الأرض والإبقاء على الغلاف المائي للأرض في نطاق درجة الحرارة الطبيعية على مدى ملايين السنين هما نتيجةُ اجتماع عدد من الخصائص الفريدة للماء، والتي تعمل معاً وبشكل متزامن، على تحقيق التوازن الخارق الذي تكلم عنه لوفلوك، ولا تنحصر وظيفة الماء على دوره الهام في الحفاظ على المحيطات ودرجة حرارة الكوكب، بل شارك الماء في الخطوة الأولى من خطوات عملية تشكيل كوكب الأرض وهي تشكيل الأجرام السماوية الصغيرة من الغبار الكوني، ومن ثم تشكيل كتل أكبر فأكبر من المادة التي ينتهي بها المطاف لتشكيل كوكب الأرض، وبعد ذلك تشكيل المحيطات التي تغمره.

نشوء النجوم والكواكب

لقد لعب الماء دوراً هاماً في تشكيل النظام الشمسي الذي توجد فيه الأرض، وتشير إلى ذلك الدور العالمة إيوان فان ديشوك من مرصد لايدن Leiden في بحث حديث في مجلة يوروفيزيكس Europhysics حيث تقول في ذلك البحث: "**الماء جزيء رئيسي في الكون، ابتداء من المجرات البعيدة ومناطق تشكيل النجوم في درب التبانة، وانتهاء بالنظام الشمسي**

وكوكبنا الأزرق، وذلك لكونه عنصراً فعالاً شارك في الأحداث الرئيسية لعملية ولادة النجوم وفي عملية تشكيل الكواكب".[١]

وتضيف في ورقة بحثية أخرى لبيان بعض أدوار الماء الهامة: "**يعمل الماء في حالته الغازية (بخار الماء) كعامل تبريد وهو ما يمكّن سحابات الغاز التي تنشأ عنها النجوم من الالتحام وتكوين النجوم، في حين يلعب جليد الماء دوراً هاماً في عملية تماسك جزيئات الغبار الكوني الصغيرة والتصاق بعضها ببعض، ما ينتج عنه تشكيل كويكبات صغيرة، ينتهي بها المطاف إلى أن تلتحم وتكون الكواكب**".[٢]



الشكل 3.2 حاضنة نجوم في سحابة ماجلان الكبيرة

---

(١) Ewine F. van Dishoeck, "Water in Space," Europhysics News 42, no. 1 (January 2011): 26–31. doi:10.1051/epn/2011105.IV.

(٢) Ewine F. van Dishoek, Edwin Bergin, Dariusz C. Lis, and Jonathan I. Lunine, "Water from Clouds to Planets," in Protostars and Planets VI, eds. Henrik Beuther, Ralf S. Klessen, Cornelis P. Dullemond, and Thomas Henning (Tucson: The University of Arizona Press; Lunar and Planetary Institute, 2014), 835–858.

وتشير مقالة حديثة أخرى إلى أهمية جليد الماء في عملية تشكيل جزيئات الغبار وفي تلاحمها لتصبح كويكبات صغرى حيث ورد فيها:

"جليد الماء هو أحد أكثر المواد وفرة في سحب الغبار الكوني وفي المحيط الخارجي للأجرام الكوكبية الأولية، وتلك السحب والأجرام هي التي تتكاثف وتلتحم لتكوين الكواكب، وبما أن لزوجة جليد الماء كبيرة مقارنة بغيره من المواد (السيليكات على سبيل المثال) وذلك بسبب طاقة سطحه النوعية العالية، فإنه يقوم بدور هام في جعل عملية التحام السحب والأقراص الكوكبية أكثر سرعة وكفاءة، ما يؤدي في النهاية إلى تشكيل الكواكب".(١)

هذا وإن تشكيل النجوم يسبق تشكيل الكواكب، يقول العالم فيليب بول: **"إن تشكيل النجوم هو ما يحتاجه كلُّ عالَم، لإنشاء كوكب لا بد من إنشاء شمس أولاً".**(٢)

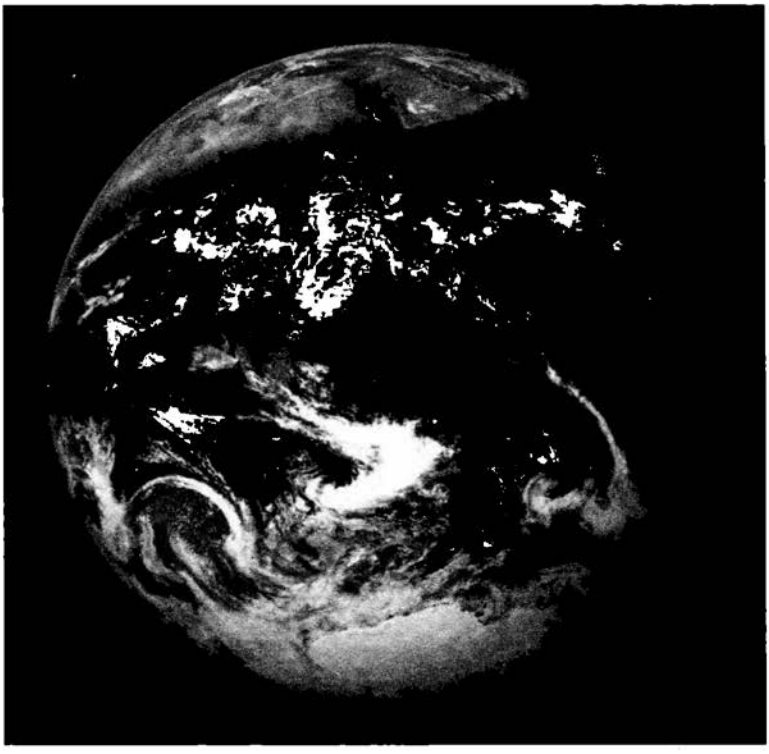
تنشأ النجوم في مواضع من الكون تسمى (حاضنات النجوم المجرّية)، وهي مناطق غنية بذرات المعادن، وفي إحدى هذه الحاضنات تَشكل نظامنا الشمسي، وتَشكل كوكبنا القابل للحياة، ورغم عدم توفر الماء بكثرة في حاضنات النجوم، غير أنه من أجل تشكل نجم قادر على استضافة نظام شمسي قابل لظهور الحياة مثل نظامنا، فلا بد من وجود الماء في منطقة تَشكل مثل هذا النجم، لأننا نحتاج الماء لتتمكن الحياة من النشوء والتطور

---

(١) B. Gundlach and J. Blum, "The Stickiness of Micrometer-Sized Water-Ice Particles," The Astrophysical Journal 798, no. 1 (December 18, 2014): 34. doi:10.1088/0004-637X/798/1/34.

(٢) Philip Ball, H_2O: A Biography of Water (London: Weidenfeld and Nicolson, 1999), 16.

والازدهار، بل إننا في الواقع نحتاج إلى كميات هائلة من الماء لتدوير عجلة جيوفيزيائية كبيرة تجعل كوكبنا صالحاً للحياة، وقابلاً لاستمرارها، أي إننا بحاجة إلى محيطات.



الشكل 3.3 صورة لكوكب الأرض مأخوذة من مركبة الفضاء أبولو 7

نشوء المحيطات

لم يقتصر دور الماء على إسهامه في الخطوات الأولى لنشوء نظام شمسي قابل لاستضافة الحياة، ولكن تعدى دور خصائصه المدهشة ذلك إلى مساهمته في نشوء المحيطات على الأرض، وقد رأينا في فصل سابق أن إيصال الماء من المحيطات إلى اليابسة يعتمد اعتماداً كلياً على خصائص الماء الفريدة

في أطواره الثلاثة: الغازية والسائلة والصلبة، وهذه الخصائص نفسها هي التي ساهمت بنشوء المحيطات كما سنرى.

ورغم أن العلماء لم يتوصلوا حتى الآن إلى جواب قاطع حول الآلية التي تشكلت بها المحيطات، غير أن جميع الفرضيات المقترحة تعتمد على الخصائص الذاتية الفريدة للماء، وسنتناول هنا أهم فرضيتين، ولكن ننوه أولا إلى أن جميع الفرضيات المقترحة، تُجمع على أن الحرارة الهائلة الناتجة عن الشمس الفتية في بداية تشكلها، كافية لتبخير أي كمية من الماء يحتويها النظام الشمسي الوليد، فمن أين جاء الماء للمحيطات إذن؟ وهاكم الفرضيتين الأشهر:

تقول الفرضية الأولى إن الماء كان محفوظاً في جزيئات السيليكات المائية، والتي (كما رأينا في الفصل الأول) تشكل أهم مكونات القشرة الأرضية، إذ يوجد جزيء ماء واحد مقابل كل ثمان جزيئات من السيليكون في معظم أنواع السيليكات، وقد تمكنت هذه الجزيئات من الاحتفاظ بمائها رغم الحرارة الهائلة الناتجة آنذاك، لأنها تحتفظ بالماء في جيوب دقيقة مقاومة للحرارة تحتويها تلك الجزيئات، وتتابع الفرضية فتقول إن جزيئات الماء هذه، قد تم الإفراج عنها من المحافظ البلورية المقاومة للحرارة في وقت مبكر من تاريخ الأرض، وذلك من خلال البراكين الناتجة عن الضغط والحرارة التي تعرضت لها القشرة الأرضية، فانبعث الماء على شكل بخار مع تفجر البراكين، ثم تجمع على سطح القشرة الأرضية ليشكل المحيطات البدائية، وما تزال القشرة الأرضية تحتفظ في جزيئاتها بكمية من الماء هي أضعاف ما في المحيطات حتى يومنا هذا، وما زالت عملية انبعاث الغازات المائية مع البراكين مستمرة كلما تفجر بركان، وجدير بالذكر أن بخار الماء الناتج عن

السيليكات التي تحوي جزيئات الماء يشكل نسبة خمسة وتسعين في المئة من الغازات التي تطلقها البراكين، بينما يشكل ثاني أكسيد الكربون واحداً في المئة منها فقط.

أما الفرضية الأخرى لتكون المحيطات، فهي تفترض أن مصدر مياه المحيطات هو المذنبات، وخلاصتها أنه أثناء تكون النظام الشمسي الفتي، اندفعت من داخله كميات كبيرة من الأبخرة المتطايرة بسبب الحرارة الشديدة الناتجة آنذاك، ثم استقرت هذه الأبخرة في قطاعات سحيقة البعد خارج النظام الشمسي، أي خارج مدار كوكب نبتون وهو أبعد الكواكب عن شمسنا، حيث تبرد ذرات الغازات الناتجة - بما فيها بخار الماء - إلى درجة التجمد، وقد استقرت هذه الأجسام الجليدية في منطقة يسميها الفلكيون حزام كايبر[1] Kuiper belt، الذي يبعد عن الشمس ما بين ٣٠ إلى ٥٠ وحدة فلكية (AU)[2] بل قد يندفع البخار إلى مواقع أبعد من ذلك خارج النظام الشمسي، إلى مكان غامض سحيق البُعد عن شمسنا يسميه الفلكيون سحابة أورت[3] Oort cloud، وتقع على مسافة تتراوح بين ٢٠٠٠ إلى ٢٠٠ ألف وحدة فلكية، وفي تلك الأماكن السحيقة، يتم تخزين جليد الماء

---

١) حزام كايبر: هي منطقة تحيط بالنظام الشمسي من الخارج، وتأخذ شكل قرص ضخم جداً، وتحتوي على البقايا التي فضلت عن تشكيل النظام الشمسي، من غبار وبخار وجسيمات أخرى، ويتكثف بخار الماء فيها على شكل حبيبات جليدية نظراً لأن الحرارة خارج النظام الشمسي تكون منخفضة جداً. [المترجم]

٢) الوحدة الفلكية Astronomical Units (AU) هي وحدة يستخدمها الفلكيون لقياس المسافات السحيقة في الفضاء، وهي تعادل البعد بين الأرض الشمس، أي حوالي ثمان دقائق ضوئية، أي تقريباً مائة وخمسين مليون كيلومتر.[المترجم]

٣) سحابة أورت: هي سحابة افتراضية ضخمة جدا تحيط بالنظام الشمسي عن بعد سحيق، شكلها كروي تقريباً، وهي أبعد من حزام كايبر، تتكون بمعظمها من عناصر متجمدة، سميت على اسم العالم الألماني جان أورت، لأنه أول من تنبأ بوجودها عام ١٩٥٠م، يعتقد الفلكيون أن هذه السحابة هي المصدر الأساسي للمذنبات. [المترجم]

الناتج عن تجمد الأبخرة الفاضلة عن عملية تكوين النظام الشمسي، ومن ذاك الجليد وما يصحبه من جزيئات وجسيمات، تتكون المذنبات المعروفة، وتلك المذنبات التي تدور حول النظام الشمسي بمدارات لا مركزية، يقتحم بعضها النظام الشمسي لاحقاً، ليصطدم بالأرض الفتية ويحمل لها الماء المخزون في جليدها، ويعتقد بعض العلماء أن نصف الماء الموجود في الأرض على الأقل حملته إليها المذنبات، وفي توضيح ذلك تقول العالمة الأمريكية مارسيا بيورنيرود: "**معظم المذنبات لها مدارات لا مركزية تتخذ شكلاً بيضاوياً مفلطحاً (قِطع)، وعلى مر الزمن، قام الكثير من تلك المذنبات برحلات في اتجاه واحد إلى النظام الشمسي الداخلي، غير قادر على مقاومة سحر جاذبية الكواكب**"،[١] وتشير العالمة نفسها أن "**نسبة الماء الواردة من المذنبات هي قضية خلافية بين العلماء**"،[٢] غير أن بعض الأبحاث الحديثة تشير إلى الكويكبات السيارة Asteroids كمصدر خارجي رئيسي لماء الأرض عوضاً عن المذنبات، وعلى أي حال، فإن ما تحويه الأرض من مستودعات مائية - وأهمها المحيطات - هي بلا شك نتيجة الخواص الفريدة للمياه نفسها.

مكتبة
t.me/t_pdf

الحفاظ على توازن الأرض

على مدى المليارات الأربعة الماضية من السنوات، أي منذ نشوء المحيطات على الأرض، حافظت حرارة الأرض في معظم تلك الفترة السحيقة

---

(١) Marcia Bjornerud, Reading the Rocks: The Autobiography of the Earth (Cambridge, MA: Westview Press, a member of the Perseus Books Group, 2005), 115.

(٢) Ibid.

على معدل يتراوح بين صفر و ١٠٠ درجة مئوية، وقد كان هناك عوامل بيئية ومناخية وفلكية وجيولوجية عديدة، ساهمت في استقرار درجة الحرارة وفي الحفاظ على المحيطات طوال تلك الفترة. من تلك العوامل: أن التغير في إنتاج الشمس للطاقة كان طفيفاً جداً على مدى تلك الفترة الزمنية السحيقة، ولم يزد سوى بمقدار ٣٠% خلال أربعة مليارات سنة، وهذا معدل تغير سنوي طفيف جداً، ومن تلك العوامل: ثبات مدار الأرض حول الشمس طوال تلك الفترة، ومن الأمور العجيبة أن أحد أهم أسباب ثبات مدار الأرض حول الشمس وسرعة دورانها، هو حجم وبعد وسرعة دوران القمر حول الأرض، وسبب كون ذلك عجيباً أن بعض العلماء يُقدّرون احتمال تشكل قمر مثل قمرنا بحجمه وبُعده عن الأرض وسرعة دورانه حولها هو ٨% فقط، بل وبعضهم يُقدّره بأقل من ذلك، لكن في كل الأحوال لا شك في أننا محظوظون لأن لأرضنا هذا القمر الذي ساعد على استقرارها وثباتها في مدارها وبالتالي استقرار حرارتها.

على أن القمر ليس هو بطاقة حظنا الوحيدة، لقد كنا محظوظين لدرجة لا توصف بسبب ما تراكم من عوامل فلكية وهندسية وجيوفيزيائية – وعوامل أخرى كثيرة – ساهمت في استقرار المكونات المائية للكرة الأرضية على مدى مليارات السنين.

ورغم حُسن حظنا هذا، فقد عانت أرضنا على مدى عمرها الطويل من تغيرات في مناخها وحرارتها أخرجتها لبعض الوقت عن توازنها المناخي، وتلخص العالمة مارسيا بيورنيرود ما حدث للأرض بطريقة أدبية غاية في حُسن التعبير والجمال، فتقول: "**لقد أصيبت الأرض بموجات متعددة من الحمى والقشعريرة، ولكنها لم تتعرض لأي داء شديد لدرجةٍ يعجز عندها**

نظام المناعة المناخي عن التغلب عليه في نهاية المطاف، والعودة بها إلى استقرارها المعهود".[1]

وعلى سبيل المثال، أتى على الأرض حين من الدهر ارتفعت فيها الحرارة حوالي ٨ درجات أعلى من معدلاتها الحالية، وذلك ما بين الحقبتين الباليوسينية والأيوسينية، بحيث وصلت الغابات الاستوائية إلى مناطق بعيدة عن خط الاستواء.

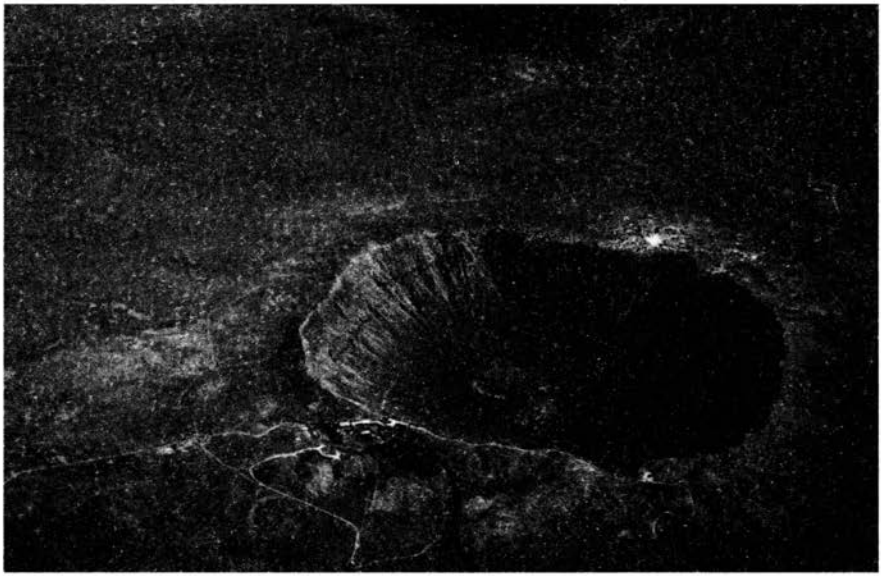
وأتى عليها كذلك عصور جليدية انخفضت فيها درجات الحرارة بحيث وصلت طبقات الجليد إلى مناطق قريبة من خط الاستواء.

وبالإضافة إلى التغيرات الحرارية، فقد تعرضت الأرض قبل خمس وستين مليون سنة إلى نيازك ضخمة ضربت سطح الأرض، أشهرها ذاك النيزك الضخم الذي ضرب شبه جزيرة يوكاتان جنوب المكسيك، والذي يعتقد بعض العلماء أنه كان السبب في موجة انقراض الأحياء التي سادت في العصر الطباشيري، وأدت إلى انقراض الديناصورات وغيرها من الأحياء التي كانت تستوطن الأرض آنذاك.

وكما أسلفنا كانت الأرض تستعيد عافيتها وتوازنها بعد كل تغير، ولولا هذا التوازن لكانت تلك الضربة النيزكية كفيلة بأن تثير غباراً يحجب ضوء الشمس عن الأرض، ويؤدي إلى كبح عملية التركيب الضوئي، وخفض درجة حرارة الأرض لسنوات طويلة، والقضاء على كل أنواع النباتات، ولكن توازن الأرض أعادها سيرتها الأولى.

---

(١) Marcia Bjornerud, Reading the Rocks: The Autobiography of the Earth (Cambridge, MA: Westview Press, a member of the Perseus Books Group, 2005), 6.



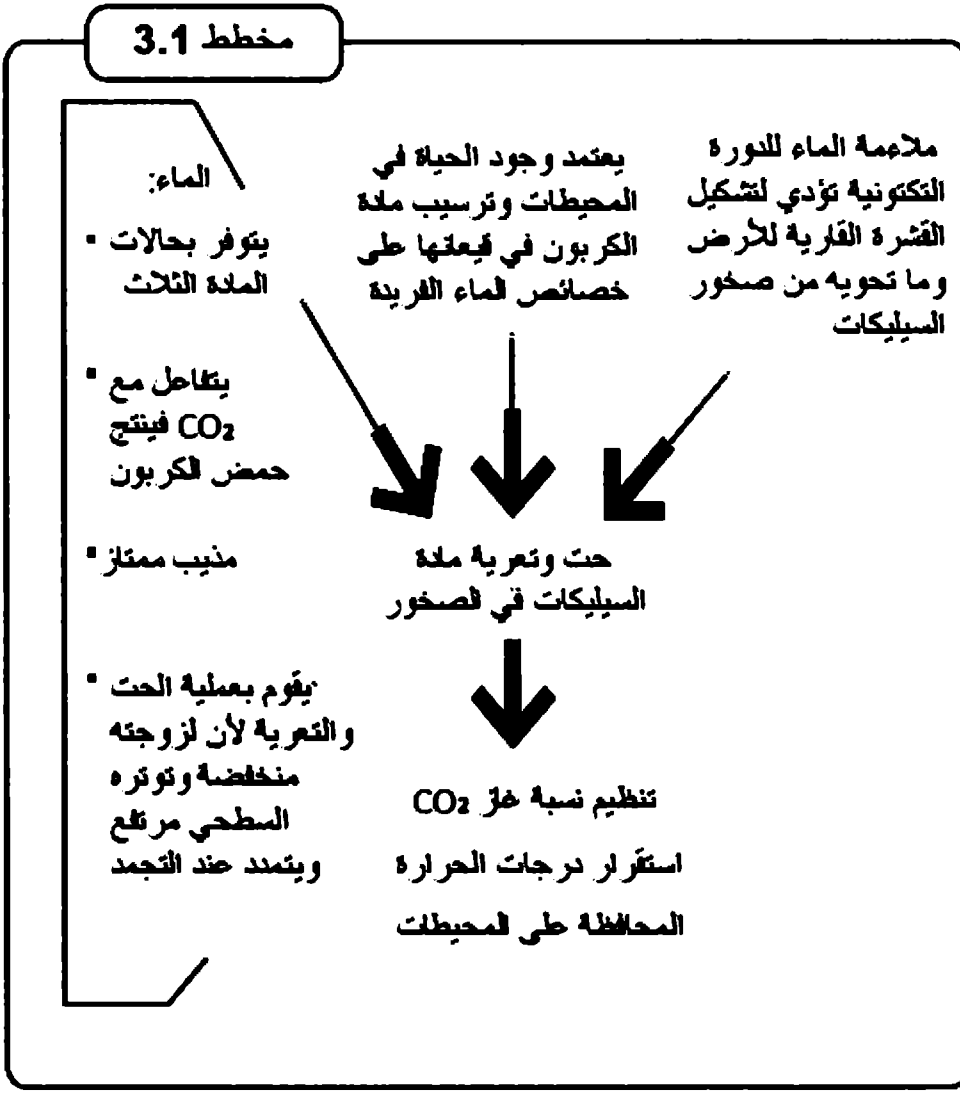
الشكل 3.4 حفرة ضخمة تسبب بها سقوط نيزك فضائي في صحراء أريزونا

دور تعرية السيليكات في توازن الأرض

بالإضافة لما سبق من عوامل المحافظة على درجة حرارة الأرض، فهناك عامل آخر ربما يكون أهمها على الإطلاق، وهو المحافظة على كمية غاز ثاني أوكسيد الكربون في المجال الجوي ضمن حدود معينة تحفظ حرارة الأرض ضمن معدلاتها المعروفة، وقد لعب هذا الأمر بكفاءة دور نظام الرقابة والمناعة الذي حافظ على حرارة الأرض من التغير على مدى مليارات السنين، والمدهش أن هذا النظام الرقابي يعتمد بشكل أساسي على الماء، شأنه شأن العوامل الأخرى التي ذكرناها آنفاً، لأنه يقوم على الحت والتعرية التي يمارسها الماء على مادة السيليكات الموجودة على سطح الكرة الأرضية، هو نظام مبدؤه من الماء، ويعمل بالماء، وللماء.

ويمكن تبسيط هذا النظام وتلخيصه على النحو التالي: يحتوي الغلاف الجوي على ثاني أوكسيد الكربون، وهذا الغاز هو الذي يمتص الحرارة التي تصدر عن سطح الأرض على شكل أشعة تعكس حرارة الشمس، وامتصاص ثاني أوكسيد الكربون لهذه الحرارة هو الذي يسبب الاحتباس الحراري، ويرفع درجة حرارة الأرض، ولكن عند ارتفاع درجة الحرارة، يرتفع معها معدل تعرية الصخور - الذي يقوم به الماء بالتعاون مع غاز ثاني أوكسيد الكربون- والتعرية ليست سوى نتيجة تفاعل الماء وثاني أوكسيد الكربون مع مادة السيليكات الموجودة في الصخور، وارتفاع الحرارة يزيد من سرعة هذا التفاعل، وناتج التفاعل هو الغضار والتربة ومحلول حمض الكربون، وهنا يحدث التوازن العجيب:

ارتفاع الحرارة يزيد سرعة وكمية عملية التعرية، والتعرية تقوم على تفاعل ينتج عنه تحويل غاز ثاني أوكيد الكربون إلى حمض الكربون، أي بتعبير آخر التعرية تقوم بخفض كمية غاز ثاني أوكسيد الكربون في الجو فيحصل التوازن المطلوب، ترتفع الحرارة فتزيد التعرية، فينقص غاز ثاني أوكسيد الكربون في الجو، فتنخفض الحرارة، فتتباطأ عملية التعرية، فترتفع نسبة غاز ثاني أوكسيد الكربون بسبب تدفقه الدائم للجو عبر البراكين وغيرها من العوامل، فترتفع الحرارة، فتزيد كمية وسرعة التعرية... وهكذا دواليك... أما حمض الكربون الناتج عن التعرية، فمصيره في النهاية أن يجرفه الماء إلى البحار والمحيطات، لتستخدمه الكائنات البحرية الدقيقة في استخلاص الكربون الذي تتكون منه قشورها، ثم إذا ماتت تلك الكائنات ترسبت قشورها في القاع لتصبح جزءًا من الصخور الرسوبية التي تكوّن قشرة الأرض، والتي تعوّض ما فقدته الأرض من طبقاتها عبر التعرية، لتتم تغريتها من جديد... وهكذا.



الأرض كانت كرة ثلجية

إن أوضح مثال على كيفية عمل هذا النظام الرقابي الذي يحافظ على حرارة الأرض، تقدمه لنا الطريقة التي رفعت بها الأرض حرارتها وعادت إلى وضعها الطبيعي عندما كانت يوماً مغطاة كلها بطبقة سميكة من الجليد

وصلت حتى المناطق الاستوائية، فأدى ذلك إلى توقف تام لعملية الحت والتعرية، التي كانت تستهلك غاز ثاني أوكسيد الكربون من الجو، وفي الوقت نفسه لم تتوقف البراكين عن ضخ غاز ثاني أوكسيد الكربون إلى الجو، والذي تراكم في الجو فوق الطبقات الجليدية، فأدى إلى ارتفاع تدريجي في حرارة الغلاف الجوي، فأدى ذلك إلى ذوبان تدريجي لطبقة الجليد وانحسارها عن معظم مناطق الأرض باستثناء المناطق القطبية.

وهناك مثال آخر معاكس، حدث قبل ٥٥ مليون سنة، في بداية عصر جيولوجي يسميه الجيولوجيون (العصر الأيوسيني Eocene)، ارتفعت فيه درجة حرارة الأرض عدة درجات فوق معدلاتها المعتادة، بسبب طرح كميات كبيرة من غاز ثاني أوكسيد الكربون، فانحسر الجليد تماماً عن سطح الأرض، ولكن معدلات ثاني أوكسيد الكربون عادت إلى معدلاتها الطبيعية خلال فترة جيولوجية قصيرة نسبياً، وذلك بسبب عملية تعرية السيليكات، التي استهلكت الكثير من كميات ثاني أوكسيد الكربون، بالترافق مع طرح كميات كبيرة من حمض الكربون الناتج عن هذه العملية في المحيطات، مما أعاد غاز ثاني أوكسيد الكربون إلى معدلاته الأصلية، ونتج عن ذلك بالطبع عودة درجات الحرارة إلى معدلاتها المعتادة، فعاد الجليد للظهور في المناطق القطبية من جديد.

إن الأرض مدينة بصلاحيتها للحياة لعملية الحت والتعرية، والتي مكّنت الأرض من تجنب المصير الذي واجهه كوكب الزهرة، حيث على كوكب الزهرة تبلغ نسبة غاز ثاني أوكسيد الكربون في الجو ٩٦%، والضغط الجوي فيه يزيد عن تسعين ضعفاً عن الضغط الجوي على الأرض، وتبلغ الحرارة على سطحه ٤٧٥ درجة مئوية، ولا يوجد على سطحه أي مياه، ولذلك

فإن كوكب الزهرة كان ولا يزال في اضطراب دائم لا استقرار فيه على نمط معين، وتصفه العالمة مارسيا بيورنيرود فتقول:

"إن حجم كوكب الزهرة يساوي تقريبا حجم الأرض، ولكنه أقرب إلى الشمس، والحرارة على سطحه عالية جداً تبلغ ٤٧٥ درجة مئوية، ليس فقط لأنها أقرب للشمس من الأرض، ولكن لأنها تفتقر إلى نظام الرقابة الذي تتمتع به أرضنا والذي يحافظ على معدلات حرارتها ضمن الحدود المعروفة، ذلك لأن براكين الزهرة كانت ولا تزال تضخ باستمرار كميات كبيرة من غاز ثاني أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت، فأدى ذلك إلى جعل الكوكب أشبه بكرة حارة مخنوقة بهذين الغازين، وذلك لعدم وجود نظام الحت والتعرية الموجود على الأرض، والذي يمتص ما زاد من الغازات في جوها ثم يخزن موادها في الصخور الرسوبية، فتكون النتيجة المحافظة على حرارة الأرض".[١]

لقد كان كوكب الزهرة أشد سخونة من الأرض منذ بداية تشكله، ولو كان فيه محيطات لفقدها بالتأكيد بسبب الحرارة العالية التي سببها الاحتباس الحراري الهائل عليه كما أسلفنا، ولقلت كمية الماء التي تتكاثف من البخار في طبقات الغلاف الجوي القريبة من سطح الكوكب شيئاً فشيئاً حتى يجف الكوكب، لأن بخار الزهرة كان سينطلق إلى طبقاته الجوية العليا وسيتفكك إلى مكوناته من الأوكسيجين والهيدروجين. أما على كوكبنا الأرض فإن بخار الماء الناتج عن تبخر المحيطات يتكثف في المناطق المرتفعة الباردة، أي في قمم الجبال وفي المناطق القطبية، فتتم المحافظة عليه للقيام بالدورة المائية.

---

(١) Marcia Bjornerud, Reading the Rocks: The Autobiography of the Earth (Cambridge, MA: Westview Press, a member of the Perseus Books Group, 2005), 13.

ومن جهة أخرى فإن كوكب الزهرة يفتقر إلى وجود أي نوع من الكائنات الحية لتساعد في عملية التعرية في اليابسة، وفي عملية دفن الكربون وإعادته للقشرة الأرضية في المحيطات.

وربما كان انعدام الحياة على الزهرة عاملاً آخر عجَّل بجعلها كوكبا مخنوقاً شديد الحرارة - بسبب ظاهرة الاحتباس الحراري الشديد عليها - لأن الكائنات الحية لها دور في المساعدة على عملية الحت والتعرية على اليابسة، وفي عملية دفن الكربون في قاع المحيطات، وكلا العمليتين أساسيتان في المحافظة على نسبة ثاني أوكسيد الكربون، وبالتالي ضبط الاحتباس الحراري.

الاستقرار الفريد

إن تضافر الخصائص المختلفة للماء، هو أهم ما يميز نظام الحتّ والتعرية الذي كما رأينا يحافظ على توازن الأرض واستقرارها، وعلى كمية الماء فيها، وعلى درجات حرارتها ضمن المعدلات التي تسمح بوجود الماء بأطواره الثلاثة، ولولا الماء بخصائصه الفريدة وعملها معاً بشكل متناسق لما تحقق كل هذا التوازن والاستقرار لكوكب الأرض، وذلك يتم على مراحل بسطنا القول فيها من قبل ونلخّصها كما يلي:

١- لو أن خصائص الماء الفريد لا تمكنه من التواجد بأطواره الثلاثة: البخار والسائل والجليد ضمن مجال حرارة الأرض، لما كانت هناك دورة مائية.

٢- ولو لم يتفاعل الماء مع السيليكات الموجودة في الصخور وتكوين السيليكات المائية لما كانت القشرة الأرضية مهيأة لعملية الحتّ والتعرية،

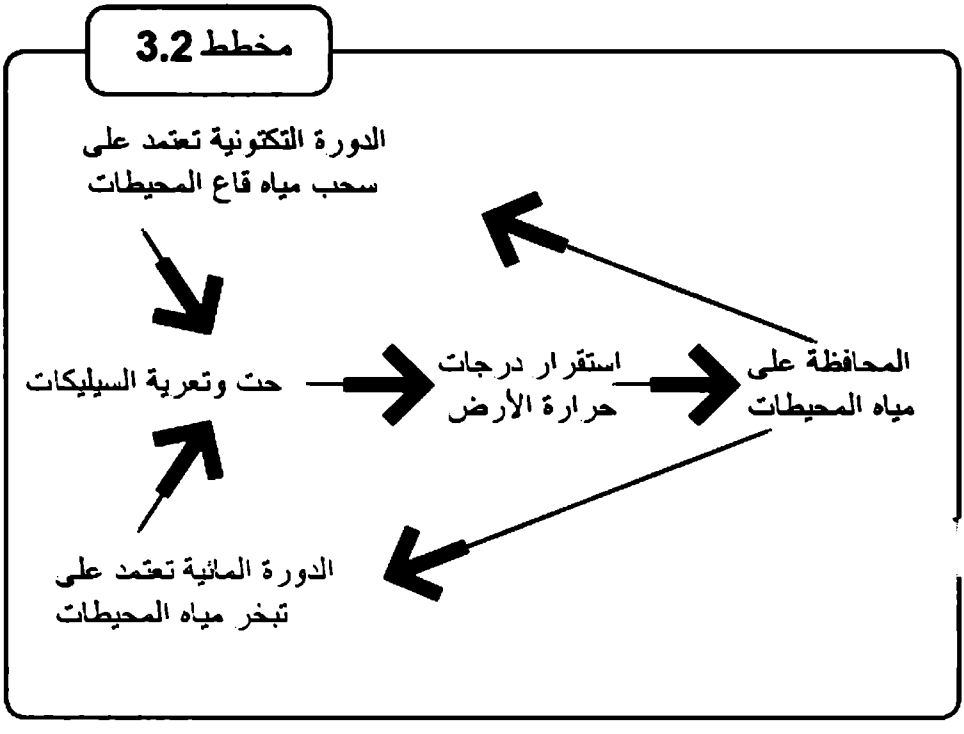
والتي تقوم بحت وتعرية السيليكات المائية الموجودة في الصخور كما رأينا.

٣- ولو لم يكن الماء قادراً على التفاعل مع غاز ثاني أوكسيد الكربون وتكوين حمض الكربون، والذي يقوم بالتفاعل مع السيليكات المائية، لما أمكن إنتاج البيكربونات، وهي أحد نواتج تفاعلات التعرية.

٤- ولو كانت قدرة الماء على القيام بالتعرية أقل، لما أمكن نقل ما يكفي من مادة البيكربونات إلى المحيطات لدفنها هناك، وهذا الدفن هو مرحلة من مراحل دورة تجديد القشرة الأرضية كما رأينا.

٥- وأخيراً، فإن الماء يساهم بدور فعال في عملية الطمر هذه، وفي إزالة غاز ثاني أوكسيد الكربون من الغلاف الجوي والمائي عن طريق الكائنات الدقيقة في المحيطات، والنباتات على اليابسة، فالماء هو المكون الأساسي لكل الخلايا الحية.

مخطط 3.2



ومما يلفت الانتباه بشدة، ميزة مدهشة لنظام الرقابة الذي تحدثنا عنه، ونعني به نظام ضبط حرارة الأرض عن طريق ضبط كمية ثاني أوكسيد الكربون، وهذه الميزة هي أن ضبط الحرارة على سطح الأرض يؤدي إلى الحفاظ على الماء في كوكبنا وعلى وجود المحيطات، ولكن من العجيب بل المعجز، أن الوسيلة الأهم التي يستخدمها هذا النظام في عمله على مر أربعة مليارات من السنين، هي نفسها الغاية التي يريد أن يصل إليها، فهو يستخدم الماء للمحافظة على الماء! إن هذا النظام بلا شك لا يضاهيه أي نظام هندسي بشري معروف، وحتى نفهم ذلك بشكل مبسط، يمكننا أن نشبه هذا النظام، بنظام لتبريد الهواء، يشارك الناتج منه – أي الهواء البارد – بفاعلية في عملية التبريد، أي يشارك الهواء البارد في عملية إنتاج الهواء البارد، أو صاروخاً يكون هدفه عاملاً فاعلاً في توجيه الصاروخ إلى وجهته.

إن جميع الأنظمة البشرية المعروفة للضبط والمراقبة والتنظيم، تعتمد على أجهزة وآليات معقدة منفصلة تماماً عن غاية تلك الأنظمة، أي عن المنتج النهائي لكل نظام، أما في حالة نظام الحتّ والتعرية الذي شرحنا تفاصيله، فإن الماء هو غاية هذا النظام، أي الحفاظ على الحرارة والمحيطات، والماء في الوقت نفسه هو وسيلة تحقيق هذا الغاية كما رأينا.

إن نظام الحتّ والتعرية الذي يضبط حرارة الأرض وكمية المياه في محيطاتها هو حقاً نظام من الماء، وبالماء، وللماء.

إن نظام الرقابة الذي تحدثنا عنه هو مثال هام يشرح إحدى أهم الأفكار المحورية التي يدور حولها هذا الكتاب، وهي أن العمليات والظواهر الطبيعية، كالدورة المائية مثلاً، والتي تقوم بشكل أساسي على مساهمة الماء وخصائصه الفريدة، تقوم في الوقت نفسه بتحقيق أكثر من غاية واحدة، ومن الأمثلة

الواضحة على ذلك هي عملية الحت والتعرية التي تناولناها في الفصل الأول، والتي تساهم فيها مجموعة من خصائص الماء التي تعمل معا بشكل متناسق، لا يقتصر دورها على تقديم العناصر اللازمة لقيام الحياة على الأرض، ولكنها تقوم في الوقت نفسه بمراقبة وضبط الحرارة في جو الأرض.

أليس من العجيب أيضاً أن ثلاثة من العناصر التي يقوم نظام التعرية والحتّ على تفاعلاتها، وهي ثاني أوكسيد الكربون، والماء، وحمض الكربون، هي نفسها التي تعمل معاً في نظام حيوي أساسي آخر، هو نظام التنفس (سنشرح ذلك في الفصل السادس من هذا الكتاب)، ففي جسم الإنسان تعمل هذه المركبات الثلاثة معاً على تخليص دم الإنسان من غاز ثاني أوكسيد الكربون، وعلى تنظيم نسبة الأحماض في الدم.

التجمد العجيب

إن الطريقة التي تعمل بها خصائص الماء الفريدة للحفاظ عليه في حالته السائلة، هي مثال مدهش على حالة تتضافر فيها مجموعة من العوامل المختلفة، فتعمل معاً بتنسيق وتخطيط وترتيب، لتحقق في النهاية، بمنتهى الدقة والكفاءة، غاية محددة مرسومة، ولا بد لنا لكي نفهم هذا التناسق بين تلك العوامل، أن نخوض بشيء من التفصيل في طريقة عملها، وذلك لنرى كيف تعمل عوامل مختلفة معاً للوصول إلى تلك الغاية، وهي المحافظة على الماء الموجود على الأرض بحالته السائلة.

تمدد الجليد

لا يوجد في الطبيعة أي عنصر آخر غير الماء يتمدد عندما يتجمد، باستثناء عنصر واحد هو الغاليوم Gallium[1]، وهذا أمر شاذ ولكنه في غاية الأهمية لاستمرار الحياة، وسبب ذلك أن الجليد عندما يتشكل في الطبقات السطحية من البحار والمحيطات، فإن تمدده يجعله أقل كثافة من الماء، فيبقى طافياً على السطح، ويشكل طبقة عازلة تقي الماء تحته من التجمد، ولو كان الماء يتقلص عند التجمد، لأدى ذلك إلى أن تغرق طبقات الجليد التي تتكون على سطح البحار والمحيطات في المناطق التي تنخفض فيها درجات الحرارة إلى ما دون الصفر باستمرار، وتتبعها الطبقة السطحية التالية، فتتجمد فتغرق هي الأخرى، وهكذا حتى يتجمد ماء المحيط من قاعه إلى سطحه بالكامل، ولو حدث ذلك في العصور الجليدية الغابرة، عندما انخفضت درجة حرارة الأرض إلى ما دون الصفر في معظم مناطق الكرة الأرضية، لتحولت المحيطات إلى كتل هائلة من الجليد الصلب، ولما وُجد الماء السائل إلا على شكل طبقة رقيقة تسيل فوق صفائح الجليد الشاسعة، وفي الأيام الدافئة فقط، وفي ظروف كهذه، قد تنجو بعض أشكال الحياة البسيطة، ولكن ستنتهي أشكال الحياة المعقدة البرية والمائية.

السعة الحرارية[2] العالية للماء

يتميز الماء بسعة حرارية عالية جداً مقارنة بغيره من السوائل والعناصر،

---

(١) معدن طري وزنه الذري ٣١ وهو العنصر الوحيد الذي يشارك الماء في ميزة التمدد عند التجمد. [المترجم]

(٢) السعة الحرارية لعنصر أو مركب هي كمية الحرارة اللازمة لرفع حرارته بمقدار درجة مئوية واحدة. [المترجم]

وهذه السعة العالية هي عنصر إضافي آخر من عناصر ملاءمة الماء لنشوء الحياة على الأرض واستمرارها، ويترتب على السعة الحرارية العالية، أن الماء عندما يلامسه هواء بارد حرارته دون حرارة التجمد، فإنه يأخذ وقتاً طويلا مقارنة مع غيره حتى يتجمد، أي إن السعة الحرارية العالية تجعل تجمد الماء بطيئاً، ويمكن ملاحظة ذلك بمقارنة سرعة تجمد الماء مع سرعة تجمد أي عنصر آخر عندما نضعهما معها في البرادات المجمدة.

الكثافة العظمى عند درجة ٤ مئوية

جميع السوائل تبلغ كثافتها أكبر قيمة لها عند درجة تجمّدها، إلا الماء، فهو يتميز بخاصية تشذ عن جميع السوائل، وهي أن كثافته القصوى يصل إليها عند درجة حرارة ٤ مئوية، في حين أنه يتجمد عند درجة مقدارها صفر مئوية، ويترتب على هذه الميزة المدهشة، أن الطبقة السطحية للماء في المسطحات المائية، والملامسة للهواء البارد، عندما تصل إلى درجة ٤ مئوية، تصبح أثقل مما تحتها من طبقات المياه، فتغوص إلى قاع المسطح المائي، وتصبح الطبقة التي كانت تحتها، التي هي أكثر دفئاً وأقل كثافة، هي الملامسة للهواء البارد، ثم يحدث لها ما حدث للطبقة التي غاصت، تبرد حتى ٤ مئوية فتثقل فتغوص، وهكذا، حتى تصبح حرارة الماء كله في المسطح المائي من أعلاه لأسفله ٤ مئوية، وعندها يبدأ تجمد الماء على السطح لأنه إن برد إلى أقل من ٤ مئوية يبدأ بالتمدد فيخف وزنه عن بقية الطبقات فلا يغوص، ويبقى على السطح حتى يصل لدرجة صفر مئوية، فيتجمد.

إن من شأن هذه الخاصية أن تعيق وتؤخر قابلية الماء للتجمد.

الحرارة الكامنة للتجمد

عندما يتجمد الماء، فإنه يطلق كمية من الحرارة تسمى حرارة التجمد الكامنة، لأن عملية التجمد ليست سوى إعادة لترتيب ذرات وجزيئات الماء ليصبح صلباً بعد أن كان سائلاً، وإعادة الترتيب هذه يترتب عليها أن يطرح كمية من الحرارة، تسمى اصطلاحاً حرارة التجمد الكامنة، ولكل مركب أو عنصر سائل حرارة تجمد كامنة خاصة به، ولكن، يا للعجب، مرة أخرى يشذ الماء عن كل ما سواه من السوائل والمركبات، ويتمتع بكمية حرارة تجمد كامنة تفوق بشكل كبير أي سائل أو مركب آخر، وهذا يضيف للماء ميزة أخرى فريدة من ميزات ملاءمته للحياة على الأرض، لأن السطوح المائية على الأرض عندما تتجمد، فإن حرارة التجمد الكامنة التي يطرحها الجليد يتم امتصاصها من جهة طبقات الماء الموجودة تحت سطحه، فترتفع حرارة تلك المياه قليلاً، مما يؤدي إلى البطء في تجمدها.

ناقلية الجليد للحرارة:

يتمتع الجليد بأنه ناقل سيء جداً للحرارة، ومعظم الأجسام الصلبة تزيد ناقليتها للحرارة أضعافاً مضاعفة عن ناقلية الجليد، وبتعبير آخر فهو عازل حراري جيد، وهذه الميزة المدهشة تمنع تجمد الطبقات السفلى من المسطحات المائية، إذ إنه كلما زادت سماكة الجليد، زاد عزله للماء تحته عن الوسط الخارجي، وزادت كمية حرارة التجمد الكامنة التي يطرحها في طبقات الماء تحته، وينتج عن ذلك أمر مدهش، وهو أنه مهما بلغ انخفاض درجة الحرارة في الجو، فإن سماكة الجليد لا تزيد بأي حال عن بضعة أمتار، ويبقى ما تحتها في الحالة السائلة.

درجة لزوجة الجليد

وهذه ميزة مدهشة أخرى من ميزات الماء، وهي أن لزوجة الجليد أعلى بأضعاف مضاعفة من لزوجة الصخور والمواد التي تشكل القشرة الأرضية، وهذا يتيح للأنهار الجليدية والكتل الجليدية الأخرى التي تتشكل في المرتفعات خلال الشتاء، أن تنزلق بسهولة ويسر إلى المناطق المنخفضة، الأكثر دفئاً، أو إلى المحيطات والبحار من جديد، وهذا يؤدي إلى تزويد الغلاف المائي للأرض بالماء السائل لتعويض التبخر، ولو أن لزوجة الجليد مشابهة للزوجة الصخور، لاحتبس الجليد في المناطق الباردة والمرتفعة، ولما أمكن المحافظة على كميات الماء السائل في الغلاف المائي للأرض.

ماء البحر

إن جميع ما ذكرناه من سلوك للماء عند اقترابه من درجة التجمد، ثم تجمده، ينطبق على الماء العذب في البحيرات والأنهار، وعلى الماء المالح في المحيطات والبحار، باستثناء فرق جوهري واحد، وهو أن كثافة الماء المالح تبلغ أقصى قيمة لها في درجة التجمد، وهي -١.٨ مئوية، خلافاً للماء العذب الذي يبلغ أقصى كثافته في درجة ٤ مئوية، أي قبل وصوله إلى درجة التجمد، وبذلك يختلف سلوك الماء المالح عن سلوك الماء العذب عند درجة التجمد، وسبب هذا الاختلاف أن تجمد الماء ووصوله إلى الكثافة القصوى، لا يتعلقان فقط بدرجة حرارته، بل أيضاً بنسبة الملوحة فيه.

ينتج عن هذا الاختلاف بين الماء العذب والمالح نتيجة هامة، ذلك أنه أثناء تجمد ماء البحر المالح، ونظراً للحرارة المنخفضة التي قد تصل إلى ما

دون ٣٠ درجة تحت الصفر في القطبين، يقوم الماء خلال تجمده بطرح ذرات الملح في الماء، فيتشكل سائل ملحي شديد التركيز وشديد البرودة أسفل طبقات الجليد (من زار المناطق القطبية سيلاحظ أن طعم الجليد أقل ملوحة بكثير من طعم ماء المحيط) وتقدر كمية الماء الملحي المركز التي تتشكل تحت الجليد في القطب الجنوبي ما بين ٢٠ إلى ٥٠ مليون متر مكعب كل ثانية، ويكون هذا المحلول أثقل من الماء الموجود تحته، فيغوص إلى قعر المحيط، ولكنه أثناء غوصه ترتفع حرارته قليلاً من درجته التي تقترب من -١.٨ مئوية، لتصل إلى -٠.٥ درجة مئوية في القاع، وتكون كثافة المحلول الملحي الثقيل هذا تعادل ١.٠٢٧٩ غرام/سنتمتر مكعب، وهي أعلى كثافة يمكن أن يصل إليها الماء في محيطات العالم أجمع.

إن عملية غوص المحلول الملحي البارد الكثيف (الناتجة عن الخصائص الفريدة لمياه البحر ولطرح الملح من الجليد) هي أحد العوامل التي تؤدي إلى ما يسميه العلماء الدورة الحرارية الملحية thermohaline circulation وهي سلسلة من التيارات المائية التي تحدث في المحيطات نتيجة اختلاف حرارة المياه وكثافتها بين منطقة وأخرى، وتقوم بخلط وإعادة تدوير مياه المحيطات وما تحتويه من غذاء للأحياء المائية، ومن أمثلة تلك التيارات تيار هومبولت Humboldt ويحدث قرب سواحل بيرو، واتجاهه من قاع المحيط إلى الأعلى، ويحمل معه للسطح المياه الغنية بالمواد الغذائية، ما يؤدي إلى تكاثر هائل للأحياء البحرية في تلك المنطقة، وهكذا نرى أن اختلاف خصائص الماء المالح عن الماء العذب هي عامل أساسي في ملائمة الأرض للنشوء واستمرار الحياة.

هذا وإن للدورة الحرارية الملحية وظيفة أخرى في ثبات المناخ على

الأرض، وفي الفصل التالي من الكتاب مزيد من التفاصيل عن الدورة الحرارية الملحية ووظائفها.

ينتهي المطاف بالبقع الجليدية التي تتشكل على سطح الماء في المناطق القطبية، إلى أن تلتحم وتشكل طبقة سميكة من الجليد، تصل سماكتها في حدها الأقصى إلى متر ونصف، ولا تزيد عن ذلك، وتشكل عازلاً يحمي المياه التي تحتها من التجمد، ما يحافظ على الأحياء المائية في المحيطات القطبية، وهذا مشابه لما يحدث في المياه العذبة.

وعلى الرغم من هذه الاختلافات المثيرة للاهتمام في سلوك كل من الماء العذب وماء البحر عند اقترابهما من نقاط التجمد الخاصة بهما، فالنتيجة النهائية الأهم هي نفسها، وهي اقتصار التجمد على الطبقات العليا فقط، ليقوم السطح الجليدي المتجمد بدور العازل الحراري الذي يحمي الماء تحته من التجمد، ويحافظ عليه سائلاً مهما انخفضت الحرارة في الجو، وذلك يحدث بسبب تمتع الماء بخصائص لا نجدها في السوائل الأخرى، مثل تمدد الماء المالح والعذب عند التجمد، ومثل بلوغ الماء العذب أقصى كثافته عند درجة ٤ مئوية، والغاية النهائية هي المحافظة على ملاءمة كوكب الأرض لاستمرار الحياة.

وعلى الرغم من أن بعض المواد الأخرى تشارك الماء في بعض خصائصه الحرارية، ولكن لا يوجد أي سائل آخر يمتلك مجموعة كبيرة متناسقة من الخصائص التي تعمل معاً من أجل الحفاظ على سيولته، كما تفعل خصائص الماء.

وعلاوة على ذلك فإن تلك الخصائص نفسها تقوم بحماية المحيطات من السخونة المفرطة، ومن التبخر الزائد، وتساهم في تحسين مناخ الكرة

الأرضية.

لا تكتفي هذه الخصائص بكونها نموذجاً مدهشاً لمجموعة من الخصائص التي تعمل معاً من أجل تحقيق غاية فريدة وهي الحفاظ على الحالة السائلة؛ بل تقدم لنا خدمات أخرى لا غنى لكوكبنا عنها ليكون مؤهلاً لقيام الحياة، فبواسطتها يحافظ على نفسه، وينقل نفسه من البحار والمحيطات إلى اليابسة، ويحافظ على المحيطات طوال مليارات السنين عن طريق الحت والتعرية، ولا حاجة لأي نظام للضبط والرقابة، فالماء يقوم بكل ذلك وغيره بنفسه، معتمداً على خصائصه الفريدة.

المصيدة الباردة

هناك أيضاً ميزات أخرى للماء تجعله يساهم في الحفاظ على الماء الموجود في كوكب الأرض، وهو الحرارة العالية جداً لدرجة غليانه وتجمده، مقارنة بغيره من المواد، ولبيان وظيفة هذه الخاصية في الحفاظ على الماء في الأرض، لا بد لنا من إلقاء نظرة على طبقات الغلاف الجوي لكوكبنا الأرضي.

تبلغ السماكة الكلية للغلاف الجوي للأرض حوالي ٩٠ كيلومتراً، وهو يتألف من عدة طبقات، الطبقة الأولى الملاصقة للأرض سماكتها حوالي ١٠ كيلومترات، والاسم العلمي لها هو (تروبوسفير) Troposphere، وتعيش الكائنات الحية كلها ضمن هذه الطبقة، وفي هذه الطبقة تحصل كل عوامل الطقس من غيوم وأمطار وعواصف، وتحتوي هذه الطبقة على ٩٩% من بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي بكل طبقاته، وتحيط بها طبقة أخرى

سماكتها ٣٠ كيلومتراً تقريباً، تسمى (ستراتوسفير) Stratosphere، وتفصل بينهما طبقة (تروبوبوز) Tropopause، وهي طبقة شديدة البرودة، تتراوح درجة الحرارة فيها ما بين ٥٠ إلى ٦٠ تحت الصفر، وهنا يأتي دور الحرارة العالية لتجمد الماء في الحفاظ على الماء! فالماء يتجمد عند درجة صفر مئوية، وهي حرارة تجمد مرتفعة جداً مقارنة بدرجة تجمد غاز الأوكسيجين والنيتروجين اللذان يحافظان على حالتهما الغازية حتى درجة ستين تحت الصفر، لذلك فإن بخار الماء لا يستطيع مغادرة الطبقة السفلى (تروبوسفير) من الغلاف الجوي، لأنه سيتجمد بمجرد ملامسة الطبقة التالية الباردة (تروبوبوز)، ويعود أدراجه نحو الأرض، ولو كانت درجة تجمد الماء منخفضة مثل الأوكسيجين والنيتروجين، لتابع بخار الماء صعوده خارج طبقة (التروبوسفير)، وهناك سيتعرض للأشعة فوق البنفسجية، والتي ستقوم بتفكيكه إلى مكوناته الأصلية وهي الأوكسيجين والهيدروجين، ونظراً لأن الهيدروجين هو أخف العناصر، فسيتابع صعوده ويهيم في الفضاء الخارجي، وستكون النتيجة الحتمية فقدان ماء المحيطات والجفاف الكامل لكوكب الأرض.

وهكذا نرى أن طبقة (التروبوبوز) الفاصلة تشكل طوقاً حابساً لبخار ماء الكرة الأرضية، تمنعه من التسرب إلى الفضاء الخارجي، ويعتقد العلماء أن كوكب الزهرة قد جف لأنه تعرض لمثل هذا التسرب، فهو كوكب حجمه قريب من حجم الكرة الأرضية، وكان من الممكن أن يحتفظ ببخار الماء مثل الأرض، ولكن قربه الشديد من الشمس جعله مفتقراً إلى الغلاف البارد، أو المصيدة الباردة التي تمنع بخار الماء من التسرب خارج الأرض.

ومرة أخرى، نرى كيف تسهم إحدى الخصائص الذاتية الفريدة للماء،

وهي ارتفاع درجة تجمده بالنسبة لغيره، في حفظ الماء على كوكبنا، أي بحفظ وجود الحياة واستمرارها.

الماء أحد غازات الاحتباس الحراري

إن ثبات معدل كمية الحرارة التي يحتفظ بها الغلاف الجوي المحيط بالأرض، أمر أساسي جداً للمحافظة على درجات الحرارة في كوكبنا ضمن المجالات المعروفة واللازمة لقيام الحياة واستمرارها، فلو كانت كمية الحرارة الواردة من الشمس تحتبس كلها ضمن الغلاف الجوي، لتحولت الأرض إلى جحيم حراري لا يمكن أن تقوم فيه حياة، ولو فشل الغلاف الجوي في احتباس بعض كمية الحرارة الواردة من الشمس، لتحول كوكبنا إلى كتلة جليدية باردة تستحيل فيه الحياة، فما الذي يقوم بعملية الاحتباس الحراري الجزئي المطلوبة للحفاظ على الماء وعلى الحياة على الأرض؟

إنها غازات الاحتباس الحراري، وأهم هذه الغازات على الإطلاق، هو بخار الماء، فهو يساهم في الحفاظ على ثلثي الحرارة اللازمة للحياة على الأرض، وتساهم عوامل أخرى - مثل تعرية السيليكات - في الثلث الباقي، وهنا تجدر ملاحظة أن الغلاف الجوي يتكون في معظمه من الأوكسيجين والنيتروجين، وهي غازات ضرورية لقيام الحياة، لكنها لا تقوم باحتباس أي حرارة، ولو كان هذان الغازان يحتبسان الحرارة لتحولت الأرض إلى كتلة من الجحيم، أما بخار الماء، فإن كميته الموجودة في الغلاف الجوي، والخصائص الفيزيائية والحرارية الفريدة له، تجعله من العناصر التي تلعب الدور الأكبر في الاحتباس الحراري اللازم حتى تتمكن الأرض من الحفاظ على درجات حرارتها ضمن المعدلات الطبيعية.

وبهذه الميزة الفريدة، تكتمل الأدوار المذهلة التي يلعبها الماء في الحفاظ على الظروف البيئية والمناخية على كوكب الأرض، وفي الحفاظ على المحيطات وعلى كافة الموارد المائية التي لا غنى عنها لقيام واستمرار الحياة.

التحكم بحجم الماء على الأرض

يؤكد العلماء وجود أدلة على أن حجم الماء في المحيطات لم يتغير إلا بمقدار طفيف جداً منذ تشكلها قبل أربعة مليارات سنة، ويُرجع العلماء ذلك إلى وجود آلية محكمة تضبط التوافق الدقيق بين حجم أحواض المحيطات وحجم الماء فيها، ومن جديد، تظهر إحدى خواص الماء كلاعب رئيسي في هذا النظام، هذه الخاصية هي السعة الحرارية الهائلة للماء عند ما يسميه العلماء النقطة الحرجة، والنقطة الحرجة هي نقطة درجة حرارة الماء والضغط المناسبان لتواجد الماء وبخاره معا في الوقت نفسه وفي حالة توازن، وقد تندهش عزيزي القارئ إذا علمت أن السعة الحرارية للماء عند النقطة الحرجة تزيد بآلاف الأضعاف عن سعته الحرارية في درجات الحرارة الطبيعية، ولهذا السبب فإن المفاعلات النووية تعتمد في تبريدها على توفير ماء في درجة حرارة وضغط قريبين من النقطة الحرجة.

أما في الطبيعة فهناك موضع آخر يتواجد فيه الماء عند النقطة الحرجة، وهو عند البراكين التي تحدث باستمرار في قاع المحيطات، فالمواد المنصهرة الناتجة عن هذه البراكين تبلغ حرارتها حوالي ٤٠٠ درجة مئوية، والضغط في قاع المحيطات، التي يبلغ أعماقها ثلاثة آلاف متر على الأقل، يعادل ثلاثمائة ضعف الضغط الجوي عند سطح البحر، وهذه ظروف مناسبة تماماً ليكون للماء سعة حرارية هائلة، تقوم بعمل سائل تبريد للصخور الرسوبية الناتجة

عن المواد المنصهرة التي تقذفها البراكين البحرية، ولهذه العملية نتائج هامة جداً على صعيد المحافظة على كمية الماء في المحيطات، ذلك لأن الماء في نقطته الحرجة يترشح بكميات أكبر بكثير ضمن طبقات الأرض عند قاع المحيط، وإلى مسافات أكثر عمقاً، ولو كان منسوب الماء في المحيطات منخفضاً، لما بلغ الضغط في قاعها قيمة تصل بالماء إلى نقطته الحرجة، ولكان ترشح الماء في طبقات الأرض أقل بكثير ولأعماق أقل من تلك التي تحدث عند النقطة الحرجة، وهذا التبادل للماء بين المحيطات وبين القشرة الأرضية في قاعها، هو الذي يحفظ للمحيطات حجم أحواضها وحجم الماء فيها.

لو صحت هذه الفرضية فنحن إذن أمام دور آخر لخاصية فريدة من خواص الماء في المحافظة على ماء المحيطات.

الماء عنصر مستقر كيميائياً

وآخر خصائص الماء التي نذكرها، والتي لعبت دوراً جوهرياً في الحفاظ على كمية الماء الهائلة الموجودة على كوكب الأرض على مدى مليارات السنين، هي ما يتمتع به الماء من استقرار في بنيته الكيميائية، فعلى الرغم من وجود الأوكسيجين والنيتروجين وثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، والتي تمثل معظم كتلة الغلاف الجوي، فإن الماء لا يتفاعل مع أي منها ولا يفقد استقراره الكيميائي في وجود أي منها أو وجودها معاً، وإلا لما وجدنا اليوم ماءً على الأرض، ولتفكك الماء إلى أوكسيجين وهيدروجين منذ زمن بعيد.

وهذه ميزة أخرى تجعل وجود الماء شرطاً لملاءمة الأرض لوجود الحياة.

خلاصة القول

لقد رأينا في هذا الفصل أن خصائص الماء، قد وهبت الأرض قدرتها الخارقة في الحفاظ على حرارتها ضمن نطاق مستوى الحرارة الطبيعي، وفي الحفاظ على محيطاتها على مدى مليارات السنين، وفي استعادة توازنها كلما طرأ عليها ما يفقدها هذا التوازن، فقد جاءت العصور الجليدية وذهبت، وتعرضت لضربات نيزكية غاية في القوة، وحدثت فيها ثورات بركانية هائلة، وكانت الأرض بعد كل حدث من هذه الأحداث الجسام تفقد توازنها واستقرارها، ولكن الخصائص المذهلة للماء ما تلبث أن تساعدها على اجتياز محنها واستعادة استقرارها كما رأينا.

لقد لعب الماء دوراً هاماً في هذه الإنجازات العظيمة، وخاصة في تلك الحالات التي تصرف فيها الماء السائل كعامل في الحفاظ على نفسه، وبالتأكيد لا يمكن تجاهل العوامل الأخرى التي ساعدت على استقرار الأرض وجعلتها ملائمة لقيام الحياة واستمرارها، مثل موقعها المناسب من حيث بعدها عن الشمس، ومدار الأرض المستقر في النظام الشمسي، وغير ذلك مما يتمتع به كوكبنا الأرضي من مزايا، ولكن لولا قدرة الماء الفائقة والبارعة في الحفاظ على الذات، لاندثرت قدرة الأرض على احتضان الحياة منذ زمن بعيد.

إن امتلاك الماء لهذه المجموعة من الخصائص الأساسية المدهشة، التي تمكنه من الحفاظ على نفسه في الحالة السائلة على سطح الأرض، ومن الحفاظ على درجة حرارة البيئة ضمن النطاق الطبيعي، يقدم لنا أدلة لا يمكن دحضها على ملاءمة الماء لقيام الحياة على الأرض واستمرارها، فلولا تلك الخصائص الفريدة للماء، لما كان هنا دورة استبدال لطبقات القشرة الأرضية،

ولا دورة مائية، ولا محيطات، ولا حياة بحرية، ولا نباتات، وبالتأكيد لن يكون هناك أي شكل من أشكال الحياة البرية بما فيها حياة الكائن البشري المعقد.

مخطط 3.3

مكتبة
t.me/t_pdf

- حرارة نوعية عالية
- يتمدد عند التجمد
- الكثافة القصوى عند أربع درجات مئوية
- الحرارة الكامنة عند التجمد
- الحرارة الكامنة تحت الجليد
- ناقلية الجليد الضئيلة للحرارة
- اللزوجة المنخفضة للجليد
- درجات حرارة مرتفعة للغليان والتجمد
- حت وتعرية السيليكات
- الاحتباس الحراري

المحافظة على كمية الماء في الأرض

الفصل الرابع

آلة المناخ

لاحظ (بنجامين فرانكلين) أمرًا محيرًا، حينما كان يشغل منصب نائب مدير مكتب البريد بأمريكا الشمالية قبل أكثر من عشر سنوات من تحول مسار حياته ليصبح أحد الآباء المؤسسين للولايات المتحدة الأمريكية. حيث لاحظ آنذاك أن سفن البريد الإنجليزية التي يقودها البحارة الإنجليز والتي تحمل البريد من مدينة فالموث (في الطرف الجنوبي الغربي من إنجلترا) إلى نيويورك تستغرق مدة تزيد أسبوعين كاملين عن المدة التي تستغرقها السفن التجارية الأمريكية في رحلتها من لندن إلى رود آيلاند، على الرغم من أن المسافة التي تقطعها الأخيرة هي الأبعد!

عندما سأل (فرانكلين) ابن عمه العالم الجغرافي (تيموثي فولجر) عن سبب هذه الزيادة أخبره أن ذلك بسبب وجود تيار من المياه سريعة التدفق يتجه شرقًا عبر المحيط الأطلسي، وعرفه التجار الأمريكيون جيداً، حيث كانوا يعبرونه بسرعة في رحلتهم من إنجلترا إلى أمريكا لتجنب الإبحار ضد التيار. في المقابل كان البحارة الإنجليز يبحرون غربًا ضد اتجاه حركة المياه، مما زاد من وقت عبورهم للمحيط الأطلسي. وبالتعاون مع فولجر أطلق فرانكلين على تيار المياه المتدفق اسم "تيار الخليج"، وقام بنشر أولى الخرائط التي توضح مسار التيار المائي في عام ١٧٧٠م.

إن لتيار الخليج هذا تأثير هائل على مناخ أوروبا الغربية من خلال أحد تفرعاته الرئيسية والمعروف باسم تيار الأطلسي الشمالي، ويظهر هذا التأثير بصفة خاصة على مناخ النرويج وأرخبيل سفالبارد النرويجي الذي يبعد حوالي

ثمانمائة ميل من القطب الشمالي. فعلى الرغم من أن الأجزاء الشمالية من النرويج تقع داخل نطاق الدائرة القطبية الشمالية، وأغلب مناطقها مغطاة بالجليد والثلوج في فصل الشتاء، إلا أن معظم ساحل النرويج يخلو من الجليد والثلوج على مدار العام.

فلولا وجود تيار الخليج لربما أصبحت الجزر البريطانية والنرويج – وبالتأكيد سفالبارد – مناطق غير صالحة للسكنى، ولتعرّضت لمناخ شديد البرودة مثلما هو الحال في غرب جرينلاند.

الشكل 4.1 خريطة بنيامين فرانكلين لتيار الخليج

إذن ما هو سر ذلك التأثير الفائق لتيار الخليج على مناخ شمال غرب أوروبا؟ في الحقيقة يكمن السر في واحدة من الخصائص الطبيعية للماء، ألا وهي الحرارة النوعية المرتفعة للغاية للماء، وتسمى أيضاً السعة الحرارية[1]، والتي تتيح لمياه تيار الخليج أن تحمل معها كميات هائلة من الحرارة باتجاه الشمال، وهي كميات تفوق كثيرًا إجمالي كمية الطاقة التي تستهلكها دول العالم قاطبة، وأكثر بكثير من الطاقة التي كانت ستحملها لو كانت الحرارة النوعية للماء مثل نظيرتها لدى معظم السوائل الأخرى المعروفة.

إن الحرارة التي تقوم مياه المحيطات بتخزينها في فصل الصيف ثم تنبعث عنها في فصل الشتاء قد لا تقل أهمية عن الحرارة المنقولة شمالًا بواسطة تيار الخليج من حيث أثرها على تحسين المناخ بشكل كبير في شمال غرب أوروبا. وهذا أيضًا يعتمد على الحرارة النوعية الكبيرة التي يتمتع بها الماء.

اعتدال المناخ

من أجل تجربة الأمر فسيكون على المرء الغطس ليلاً في مياه البحر في أحد أيام الصيف الدافئة ذات الجو الهادئ (حيث السماء صافية ولا وجود للغيوم) ليختبر بنفسه السعة الحرارية العالية للمياه ففي وقت الظهيرة عندما تكون درجة حرارة الهواء حوالي ٣٠ درجة مئوية تكون درجة حرارة مياه البحر ٢٠ درجة مئوية وهو ما سيشعرك ببرودة المياه؛ لكن في مساء اليوم

---

(١) الحرارة النوعية لمادة ما، وتسمى أيضاً السعة الحرارية، سبق تعريفها في الفصل السابق، وهي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من هذه المادة بمقدار درجة مئوية واحدة، إي إنه كلما زادت قيمة السعة الحرارية، زادت مقاومتها لتغير حرارتها، وزادت كمية الحرارة التي تخزنها المادة عند ارتفاع حرارتها، وبالتالي قدرتها على الاحتفاظ بكمية كبيرة من الحرارة. [المترجِم]

نفسه، حيث تنخفض درجة حرارة الهواء إلى ١٥ درجة مئوية فستبقى درجة حرارة مياه البحر عند ٢٠ درجة مئوية – وستشعر الآن بمدى دفء المياه ولطفها!

– الحرارة النوعية: لقد حافظت مياه البحر على درجة الحرارة نفسها التي كانت عليها ظهرًا بسبب سعتها الحرارية العالية، والتي تبلغ حوالي أربعة أضعاف السعة الحرارية للتربة الجافة (وضِعْف السعة الحرارية للتربة الرطبة). وهذا يجعل مياه البحر أقل عرضة للتغير السريع في درجة الحرارة مقارنةً بالأرض. علاوةً على ذلك فإن الجزء العلوي من سطح البحر والبالغ عمقه مائة متر في حالة من الحركة المستمرة تشبه التقليب والخلط، بينما لا تخترق الحرارة سوى بضعة أمتار فقط من سطح الأرض والذي لا يتعرض لانتقال الحرارة بالطريقة نفسها التي تحدث في البحار والمحيطات، نتيجةً لذلك فإن مياه البحر تتمتع بسعة حرارية فعالة تبلغ مائة ضعف السعة الحرارية للأرض.

إن قدرة الماء ذي الحرارة النوعية المرتفعة على مقاومة التغير في درجات الحرارة – والتي أطلق عليها العالم (توم غاريسون) اسم "القصور الذاتي الحراري" – لا يلاحظها فقط السباحون في المساء، ولكنها تظهر أيضًا واضحةً للغاية في المناطق الساحلية المطلة على المحيطات والبحار، وذلك لأن المدن الساحلية في جميع أنحاء العالم تعاني أقل بكثير من تغيرات درجات الحرارة على مدار اليوم ومن سنة إلى أخرى مقارنةً بالمدن الواقعة في المناطق الداخلية البعيدة عن السواحل وعن التأثير الملطف للبحر، بل أكثر من ذلك فإن المدن الساحلية حيث تهب الرياح في الغالب من اتجاه اليابسة مثل مدينة نيويورك يتصف مناخها بتغيرات سنوية في درجات الحرارة تفوق كثيرًا المدن الساحلية مثل سان فرانسيسكو والتي تهب عليها الرياح في الغالب من

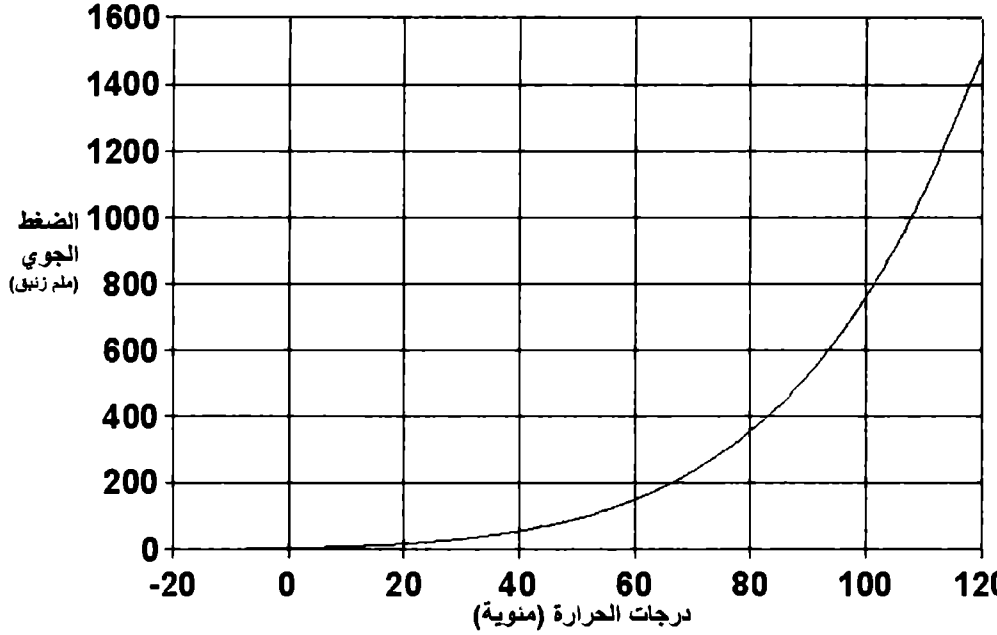
جهة المحيط الهادي، ويوضح (توم غاريسون) هذه النقطة بمقارنة مدينتين ساحليتين أخريين بالولايات المتحدة الأمريكية: الأولى هي مدينة سان فرانسيسكو بولاية كاليفورنيا والثانية هي مدينة نورفولك بولاية فرجينيا وكلتاهما تقع على خط العرض نفسه، وهو ما يعني أن كلًا منهما تبعد المسافة نفسها عن خط الاستواء، ولأن الريح تميل إلى الهبوب من الغرب إلى الشرق عند خط العرض ذاك، فإن سان فرانسيسكو أكثر دفئًا في الشتاء وبرودةً في فصل الصيف من نورفلوك، ويرجع ذلك جزئيًا إلى أن الهواء في سان فرانسيسكو يهب من فوق المحيط بينما يأتي الهواء إلى نورفولك عبر اليابسة.

وينسب إلى (مارك توين) قوله مازحًا حول هذا الأمر: "**إن أبرد شتاء قضيته على الإطلاق كان فصل الصيف في سان فرانسيسكو!**".

وبالطبع فإن التأثير المقاوم للتغير نتيجةً للحرارة النوعية المرتفعة للماء له آثار على نطاق أوسع. يقول توم غاريسون معلقاً على ذلك الأمر:

"**هل تذكر الرمال الساخنة والمياه الباردة في ظهيرة صيفية حارة؟ فلننظر إلى الأرض ككل؛ حيث أعلى درجات الحرارة على اليابسة والتي نجدها في صحراء شمال أفريقيا تتجاوز ٥٠ درجة مئوية، أما أدنى درجات الحرارة على اليابسة والتي نجدها في القارة القطبية الجنوبية، فهي تنخفض إلى ما دون ٩٠ درجة مئوية تحت الصفر، هذا الفارق يساوي ١٤٠ درجة مئوية! بينما على سطح المحيط يتراوح الاختلاف بين −٢ درجة مئوية في مناطق تشكل الجليد، إلى ٣٢ درجة مئوية في المناطق الاستوائية، أي بفارق ٣٤ درجة مئوية فقط لا غير، وسبب ذلك أن المحيط يتألف من الماء، لذلك فإن درجة حرارته ترتفع بنسبة قليلة جدًا**

حينما يمتص الحرارة بسبب السعة الحرارية العالية للماء، أي أن القصور الذاتي الحراري للمحيط أكبر بنسبة كبيرة من مثيله لدى اليابسة".[١]



الشكل 4.2 رسم بياني يبين العلاقة بين الضغط الجوي والحرارة

- الحرارة الكامنة[٢] للتبخر والتكثف: إن الخاصية الحرارية الأخرى للماء والتي تساهم بشكل كبير في قوتها المقاومة للتغير المناخي هي التبريد الناتج عن الحرارة الكامنة العالية للغاية والتي يستهلكها الماء عند تبخره، وهي أعلى

---

١) Tom Garrison, Oceanography: An Invitation to Marine Science, 7th ed. (Belmont, CA: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2010), 164.

(٢) الحرارة الكامنة للماء هي كمية الحرارة التي يستهلكها الماء ليتحول من سائل إلى بخار، دون أن ترتفع درج حرارته، وهي الكمية نفسها التي يطرحها بخار الماء حين يتكثف ليصبح سائلاً. [المترجِم]

من مثيلتها لدى أي سائل جزيئي آخر.

إن تأثير التبريد الذي يحدث عندما يتبخر الماء هو أمر نشاهده يوميًا، وحتى في أكثر الأيام دفئًا يمكن لأقل نسمة هواء أن تجعل جلدنا باردًا عند تجفيفه بعد السباحة، وهذا التأثير المبرد للتبخر، يمنع مياه حوض السباحة من ارتفاع درجة حرارتها حتى في أشد الأيام حرارة إذا كان هناك القليل من النسيم.

وتكمن أهمية التأثير الخافض للحرارة الناتج عن التبخر في أنه يحفظ توازن درجات حرارة جميع المسطحات المائية على الأرض؛ من البحيرات الصغيرة إلى المحيط الهادئ (ومناطق اليابسة المجاورة)، ويمنع ارتفاع درجات حرارتها بسرعة عندما ترتفع درجة الحرارة المحيطة بها، ولولا التأثير الكبير للتبريد الناتج عن عملية التبخر – وحتى على الرغم من السعة الحرارية العالية للماء – فإن المسطحات المائية الصغيرة في المناطق الاستوائية لن يكون لديها بدون هذه الخاصية أية وسيلة للتخلص من الحرارة، وسترتفع حرارتها بلا هوادة خلال اليوم إلى درجات حرارة ٤٠ درجة مئوية، و٥٠ درجة مئوية أو ربما أكثر، وهذا من شأنه أن يقضي عمليًا على الثروة السمكية فيها، لأن مستوى ذوبان الأوكسجين في الماء ينخفض بشدة مع ارتفاع درجة الحرارة؛ وعند درجة حرارة ٥٠ مئوية فإن مستوى ذوبان الأوكسجين هو ثلث مستواه عند درجة الصفر، وأقل بنسبة ثلاثين في المائة من مستواه عند درجة ٣٠ مئوية، ولو حدث هذا لكان من شأنه تفريغ البحيرات والأنهار الاستوائية من الأسماك، تاركًا فقط الكائنات أحادية الخلية والبدائية في المياه السامة والساخنة والخالية من الأوكسجين.

وعلى العكس من ذلك فإن معدل انخفاض درجة الحرارة المحيطة يتباطأ

في أي مكان يوجد فيه بخار ماء في الجو، لأنه عند تكثُّف بخار الماء الموجود في الجو تنطلق الحرارة الكامنة وتدفئ الهواء.

وهناك عامل آخر يؤثر أيضا في المناخ ويتعلق بالماء: حيث في الليالي الملبدة بالغيوم تعكس السحب بعضًا من الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من الأرض وتردها مرة أخرى باتجاه الأرض، وهذا يؤدي إلى تباطؤ تغير درجة الحرارة، ولهذا السبب نرى أنه في ليلة شتاء خالية من السحب والغيوم في المناطق القريبة من القطبين قد تنخفض درجة الحرارة إلى ما دون درجة التجمد، ولكن عندما تكون السماء ملبدة بالغيوم فإنه حتى في فصل الشتاء الشديد قد تظل درجة الحرارة أعلى من درجة التجمد طوال الليل.

إن تأثير التبريد عندما يتبخر الماء إلى غاز وتأثير التسخين عندما يتكثف مرة أخرى إلى سائل (وكلاهما من الآثار الناتجة عن الحرارة الكامنة الكبيرة للماء) يلعبان دورًا رئيساً في آليات تغير المناخ وفي استقراره ضمن المجالات المعروفة في مختلف مناطق الأرض، وفي نقل الحرارة من المناطق الاستوائية إلى المناطق البعيدة عن خط الاستواء والقريبة من القطبين.

ومن الأمور المدهشة المتعلقة بعملية التبريد بالتبخر، والتي تساهم في تحسين الظروف المناخية (وفي تبريد جسم الإنسان كما سنرى لاحقًا) أن هذا التأثير يزداد مع زيادة درجة الحرارة، فمع ارتفاع درجات الحرارة، حيث يتبخر المزيد من الماء ويدخل المزيد من بخار الماء في الغلاف الجوي، ما يزيد من تبريد الغلاف الجوي. وبمعنى آخر يكون تأثير التبريد أكبر عندما تكون الحاجة إليه أشد. وكأن المناخ مزود بنظام لحفظ توازنه، بحيث يزيد من قدرة التبريد بالتبخر حسب الطلب.

من السهل تصور حالة عدم التوازن التي يمكن أن تحدث لو كان العكس

هو الحال.. أي لو فرضنا وجود عالَم آخر افتراضي تنقلب فيه هذه الآية بحيث يزداد تأثير التبريد الناجم عن عملية التبخر مع انخفاض درجات الحرارة، إن ذلك سيؤدي بالتأكيد لاختلال كبير في نظام المناخ الأرضي.

- الحرارة الكامنة للتجمد: الخاصية الحرارية الثالثة للماء والتي تلعب دورًا مهمًا في حفظ اعتدال المناخ هي الحرارة الكامنة للتجمد، فهي كما ذكرنا في الفصل الماضي، الأعلى بين جميع المواد المعروفة، ولها تأثير يعمل على تخفيف حدة انخفاض درجة الحرارة بسبب إطلاق الماء كميات كبيرة من الحرارة أثناء عملية التجمد، وبالمقابل تخفيف حدة ارتفاع درجة الحرارة بسبب امتصاص الجليد كميات كبيرة من الحرارة أثناء ذوبانه.

لقد كان العالم والفيلسوف الإنجليزي (ويليام هيويل) من أوائل العلماء الذين قدّموا وصفًا واضحًا لملاءمة الحرارة الكامنة العالية للماء لحفظ الاعتدال المناخي والمرتبطة بتحول الماء من الحالة الصلبة (الثلج) إلى الحالة السائلة ومن الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (البخار)، وناقش المسألة في بحثه الشهير المسمى (بحث بريدج ووتر Bridgewater Treatise) والذي نشره عام ١٨٣٤م، وكانت آراؤه حول هذا الموضوع سبّاقة، ولا تزال تثير الإعجاب حتى بعد مرور حوالي قرنين من الزمان على نشرها، وها أنذا أقتبس بعض فقرات من بحثه:

"هناك حالة غريبة ينبغي ملاحظتها عند تحول الجليد إلى ماء والماء إلى بخار. تحدث هذه التحولات في درجة حرارة ثابتة ومحددة؛ ومع ذلك فهي لا تحدث فجأة عندما نزيد الحرارة إلى هذه الدرجة، هذا الأمر مثير للاهتمام بشدة، لأن درجة حرارة قطعة من الجليد تبقى ثابتة دون زيادة أثناء ذوبانها حتى تذوب آخر نقطة منها، وحين يحدث الغليان تبقى درجة

حرارة الماء المغلي ثابتة حتى تبخر آخر قطرة منه، وفي كلا الحالتين، ذوبان الجليد وتبخر الماء المغلي، يلزمنا استخدام كمية كبيرة من الحرارة لتنفيذ هاتين العمليتين، لذلك فإن هذين التغييرين يستغرقان وقتاً طويلاً، ولو لم يكن الأمر كذلك لكان حدوث ذوبان الجليد وتبخر الماء لحظيًا: عند أول لمسة من الدفء كانت كل الثلوج التي تكسو أسطح منازلنا سوف تسيل مثل مجرى مائي إلى الشوارع، وكل الثلج الذي يملأ الشوارع ويسد الطرقات كان سيندفع مثل جداول المياه، وكانت أكواخ الإسكيمو الثلجية سوف تتلاشي في غمضة عين وكأنها محض خيال، والأسطح الجليدية للأنهار المتجمدة كانت ستزول دون أن تطلق أي تحذير للمتزلجين أو المسافرين عبرها، وكانت المياه عندما تصل إلى نقطة الغليان أثناء تسخينها سوف تتحول إلى بخار في لمح البصر ليتبدد في الجو، أو يقطر كالندى على الأشياء المجاورة، بينما يختفي السائل بأكمله وكأنه لم يكن".[١]

ويخلص هيويل إلى أن: "**الفائدة من تلك الآليات... مناسبة تمامًا لمنح أبحاثنا الثقة والأمل بوجود مثل تلك الخصائص النافعة في كل جزء من أجزاء الخلق، وبالتالي فإن لها قيمة خاصة في إضافة دعم تصورنا بوجود تصميم فريد مفيد للكون**".[٢]

أما الأمر المذهل بوجهٍ خاص فهو الطريقة التي تعمل بها هذه الخواص الحرارية المختلفة – مثل الحرارة النوعية، والحرارة الكامنة ذات القيمة العالية

---

١) W. Whewell, Astronomy and General Physics Considered with Reference to Natural Theology (London: William Pickering, 1834). Available at: https://archive.org/ details/astronogenphysics00whewuoft

2) Ibid., 91–92.

للتجمد والانصهار، وكذلك الحرارة الكامنة ذات القيمة العالية للتبخر والتكثف -، فهذه الخواص المدهشة تعمل جنبًا إلى جنب بتضافر رائع من أجل الوصول إلى نتيجة القصور الذاتي الحراري نفسها، وإبقاء المناخ في حالة اعتدال! وكما سنرى لاحقاً فإن هذه الخواص الحرارية ذاتها متضمنة في كلٍ من آلة المناخ الرائعة، وفي الحفاظ على توازن درجات الحرارة في أجسام الكائنات من ذوات الدم الحار مثلنا نحن البشر.

آلة المناخ العالمية

نظرًا لأن الأرض ليست سوى كرة تدور حول الشمس، فإن قوانين لهندسة تقضي بأن خطوط العرض العُليا للأرض تتلقى مقداراً من أشعة لشمس لكل وحدة مساحة أقل مما يسقط على المناطق الاستوائية حيث تكون أشعة الشمس متعامدةً أكثر على السطح، في الواقع تتمتع خطوط لعرض العليا بتوازن حراري سالب، بينما في المناطق الاستوائية ينعكس لوضع، وفي حين أن الخصائص الحرارية للماء تعمل فعليًا على حماية البيئات لمحلية ضد التغيرات في درجات الحرارة على المدى القصير، إلا أنها ستظل تترك جزءًا كبيرًا من الأرض إما شديد الحرارة أو قارس البرودة، ولكن هذا لا يحدث، فلا بد إذن من وجود آليات أخرى تعمل على التوازن الحراري، أي التحكم بدرجات الحرارة بحيث تكون ضمن المجالات المعروفة لنا حالياً في المناطق الاستوائية والحارة، إذ لو لم تكن هناك آليات لانتقال الحرارة على نطاق واسع من المناطق الاستوائية الحارة إلى خطوط العرض العليا الأكثر برودة؛ أي من خط الاستواء باتجاه القطبين، لكانت الأرض مكانًا لا يطاق.

تشير الحسابات إلى أنه لو لم يكن هناك انتقال للحرارة من المناطق الاستوائية إلى المناطق الباردة، (رغم الدور الذي تقوم به الخصائص الحرارية للماء كما أسلفنا) فإن متوسط درجة الحرارة في المناطق الاستوائية سيكون أعلى بمقدار ١٤ درجة مئوية وفي القطبين سيكون أكثر انخفاضًا بمقدار ٢٥ درجة مئوية، في حين أن خطوط العرض الوسطى - حيث توجد العديد من المراكز السكانية الرئيسية مثل نيويورك ولندن وبكين - ستكون مغطاة بالجليد في تلك الحالة. أي إن أجزاء كثيرة من الأرض - خاصة المناطق القارية القريبة من خط الاستواء - حارةً وغير قابلة للسكنى فيها، بينما مناخ المناطق القارية في خطوط العرض المتوسطة والبعيدة عن خط الاستواء سيكون باردًا جدًا لدرجة لا تحتمل.

إن انتقال الحرارة من المناطق الحارة إلى المناطق الباردة يتم وفق عملية يسميها العلماء (نقل الحرارة بالحمل)، وتتضمن هذه العملية مجموعة متكاملة من الآليات المتنوعة التي لا يعرفها الكثيرون (بخلاف الخبراء المتخصصين في علوم المناخ) وهذه أسماء بعض الآليات كما يعرفها علماء المناخ: خلايا هادلي[١]، وخلايا فيريل[٢]، والخلايا القطبية، والدورة الحرارية الملحية، ودوامات الرياح، ودوامات إيكمان، وتأثير كوريوليس، ودوران الانقلاب الطولي، والانعكاس الكوكبي، وأيضًا ما يطلق عليه اسم "حزام نقل المحيطات". كل هذه الآليات هي مكونات لما يطلق عليه عادةً اسم (النظام

---

(١) سميت نسبة للعالم جورج هادلي George Hadley وهي منطقة من الغلاف الجوي (انظر الشكل 4.3) تنتقل الحرارة فيها من خط الاستواء حتى خط عرض 30 شمالا وجنوباً، وسيأتي شرح ذلك بالتفصيل لاحقاً. [المترجم]

(٢) سميت نسبة للعالم ويليام فيريل William Ferrel وهي منطقة من الغلاف الجوي (انظر الشكل 4.3) تنتقل الحرارة فيها من خط 30 حتى خط عرض 60 شمالا وجنوباً، وسيأتي شرح ذلك بالتفصيل لاحقاً. [المترجم]

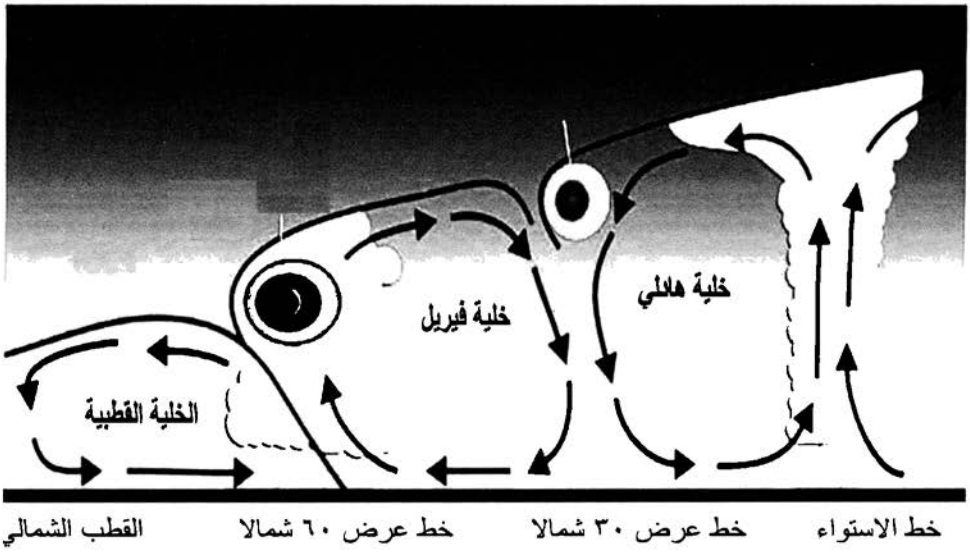
المناخي) أو (آلة المناخ)، وسنُفصّل القول أدناه في ثلاث من هذه الآليات، وهي: خلايا هادلي، وخلايا فيريل، والخلايا القطبية، هذا وإن العامل الجوهري الذي يتيح نقل الحرارة بالحمل هو - مرة أخرى - الماء، فالحرارة النوعية المرتفعة للماء وكذلك الحرارة الكامنة العالية للتبخر والتكثف تلعب دورًا حاسمًا في تلك العملية.

الانتقال الحراري الجوي

تتكون آليات انتقال الحرارة بالحمل - والتي تعمل على معادلة فروق درجات الحرارة بين مناطق مختلفة من الأرض - من كلٍ من: التيارات الجوية، والتي ذكرنا أسماء بعضها أعلاه، وتيارات المحيطات مثل تيار الخليج، هذه التيارات تقوم معًا بنقل كميات هائلة من الحرارة من المناطق الاستوائية والمدارية الدافئة إلى خطوط العرض العليا الأكثر برودة، حيث يتم نقل حوالي ٦٦% من الحرارة باتجاه القطبين عن طريق حملها عبر الغلاف الجوي، و ٣٣% عبر التيارات البحرية.

وبشكل عام فإن الحرارة المنقولة من المناطق الاستوائية إلى خطوط العرض البعيدة عن خط الاستواء تكفي لتدفئة جميع خطوط العرض العليا للأرض بعدة درجات مئوية.

تعد خلايا هادلي وفيريل والخلايا القطبية آليات رئيسية لنقل الحرارة عبر الغلاف الجوي باتجاه القطبين، كما يوضح ذلك الشكل (٤.٣).



الشكل4.3 نقل الحرارة بواسطة خلية هادلي وخلية فيرل والخلية القطبية

في خلية هادلي يرتفع الهواء الدافئ عند خط الاستواء حتى يصل إلى حدود الطبقة الدنيا من الغلاف الجوي طبقة (تروبوسفير)، وتحديداً إلى منطقة (تروبوبوز) التي تفصل بينها وبين الطبقة التالية، ثم يتحرك شمالًا إلى خط عرض ٣٠ حيث يهبط إلى سطح الأرض ويتدفق عائدًا باتجاه خط الاستواء. وفي الخلية القطبية يرتفع الهواء عند خط عرض ٦٠ حتى يصل إلى التربوبوز، ثم يتحرك شمالًا إلى القطب حيث يهبط إلى السطح. أما في خلية فيريل التي توجد بين خلية هادلي والخلية القطبية فيرتفع الهواء بالقرب من خط العرض ٦٠ ويتحرك جنوبًا تجاه الاستواء إلى خط العرض ٣٠ حيث يسقط إلى السطح ويتحرك عائدًا باتجاه الشمال.

وهكذا تقوم خلية هادلي بنقل الحرارة باتجاه القطب في طبقات الجو

العليا، بينما تقوم خلية فيريل بنقل الحرارة باتجاه القطب في طبقات الجو السفلى.

في خلية هادلي يرتفع الهواء الدافئ - الذي يحتوي على بخار الماء المتصاعد نتيجة تبخر البحار الاستوائية - من سطح الأرض إلى طبقات الغلاف الجوي العليا، وعندما يتدفق الهواء بين خط الاستواء وخط العرض ٣٠ في طبقات الجو العليا يبرد الهواء ويتكثف بخار الماء على هيئة مطر، ما يؤدي إلى انبعاث الحرارة الكامنة التي تم تخزينها أثناء عملية التبخر عند خط الاستواء، وبهذه الطريقة تنتقل الحرارة من المناطق الاستوائية نحو القطبين.

لم يغب هذا الدور بالغ الأهمية - الذي لعبته الحرارة الكامنة العالية للتبخر في الحفاظ على اعتدال وملائمة درجة الحرارة العالمية - عن ذهن العالم (لورنس هندرسون) حيث يقول:

"عند خط الاستواء يبدو أن تبخر المحيط يبلغ حوالي ٢.٣ أمتار في السنة... إن تأثير هذا التبخر الهائل في تخفيف درجة حرارة المناطق الاستوائية كبير للغاية، لكن الحرارة التي تُفقد من هناك لا تتلاشى في العدم، وإنما تتحول إلى حرارة كامنة في مكان التبخر، ثم تتحول مرة أخرى إلى حرارة فعلية في موضع التكثف، وبالتالي تعمل على تدفئة أماكن أخرى أكثر برودة... لا يمكن لأي سائل آخر تخزين هذا القدر الكبير من الحرارة أثناء تبخر كمية معينة من مادته، وليس بوسع أي نوعٍ آخر من الأبخرة أن ينتج مثل هذه الحرارة الكبيرة عند التكثف".[١]

---

(١) Lawrence Henderson, The Fitness of the Environment: An Inquiry into the Biological Significance of the Properties of Matter (New York: The Macmillan Company, 1913), 101–102.

على الرغم من أن كميةً لا بأس بها من الحرارة تنتقل أيضًا عبر الغلاف الجوي، إلَّا أن انتقال الحرارة يعتمد بصورة كبيرة على الحرارة الكامنة لتبخر وتكثف الماء، فبدون حرارة الماء الكامنة المرتفعة للغاية عند التبخر والتكثف وكذلك انتقال الحرارة في الجو نحو المناطق القطبية كانت ستنخفض مستويات إعادة توزيع الحرارة وانتقالها بالحمل بدرجة كبيرة.

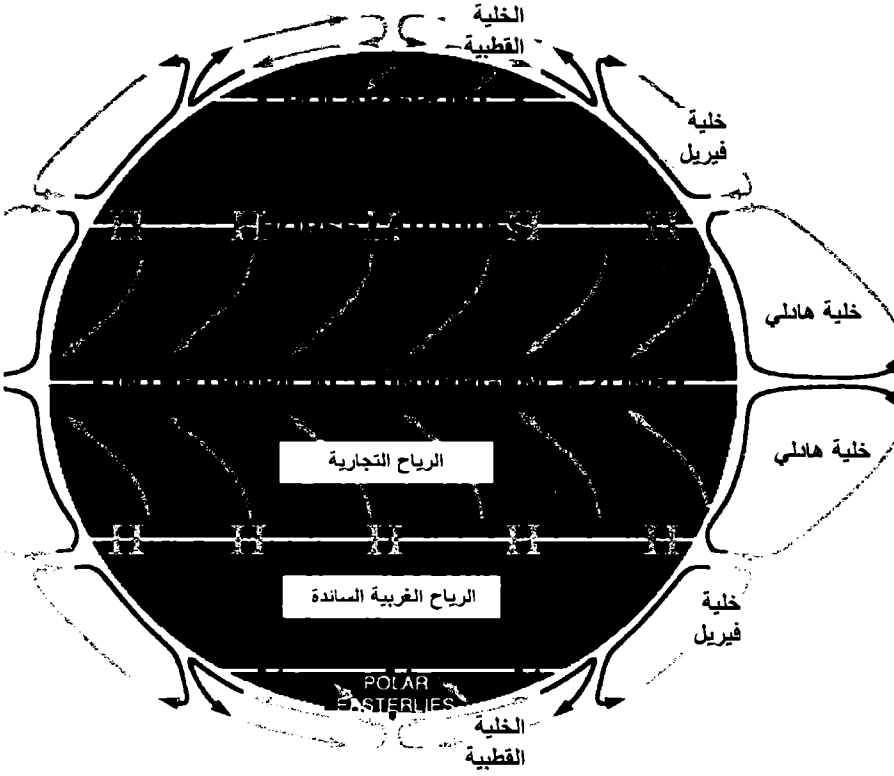
ولا يقتصر نقل الحرارة إلى القطبين على بخار الماء الذي يحمل الدفء باتجاههما عن طريق تخزينه كحرارة كامنة، ولكن هناك دور رئيسي تقوم به الحرارة الكامنة للتبخر والتكثف، وهو حركة دوران الهواء التي تؤدي إلى نشوء تيارات الغلاف الجوي. وهذا ما يؤكد عليه العلماء (تابيو شنايدر) و (بول أوجورمان) و (زافيير ليفين) في كتابهم (تبخر الماء وأثره في ديناميكية التغير المناخي):

"بخار الماء ليس مهمًا فقط للتوازن الإشعاعي للأرض باعتباره أكثر الغازات الدفيئة انتشارًا في الغلاف الجوي، لكنه أيضًا يقوم بدورٍ فعال في العمليات الديناميكية التي تشكِّل حركة دوران التيارات العالمية للغلاف الجوي وبالتالي في المناخ، ذلك لأن الحرارة الكامنة المنبعثة عند تكثف بخار الماء في الغلاف الجوي وتبريد الهواء من خلال التبخر أو التسامي للمكثفات تؤثر على دوران الهواء في الغلاف الجوي، وعلى الرغم من أن الآليات غير مفهومة تمامًا، إلا إن الفكرة القائلة بأن تسخين وتبريد الهواء من خلال تغيرات طور المياه تعد جزءًا لا يتجزأ من الحمل الحراري للرطوبة والديناميات في المنطقة الاستوائية تحظى بالتقدير على نطاق واسع".[1]

---

[1] Tapio Schneider, Paul A. O'Gorman, Xavier J. Levine, "Water Vapor and the Dynamics of Climate Change," Reviews of Geophysics 48, no. 3 (2010).

الرياح التجارية والرياح الغربية السائدة: تقوم التيارات الجوية التي تطلقها خلايا هادلي بتوليد الرياح التجارية المشهورة التي تهب من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي في نصف الكرة الشمالي، ومن خطوط العرض الوسطى إلى المناطق شبه الاستوائية. (هذه الرياح نفسها هي التي حملت كولومبوس عبر المحيط الأطلنطي من جزر الكناري إلى اليابسة في العالم الجديد في ستة وثلاثين يومًا فقط)، كما تتفاعل خلايا هادلي أيضًا مع خلايا فيريل المسؤولة عن الرياح الغربية السائدة في خطوط العرض الوسطى، وهكذا فإن الرياح التجارية والرياح الغربية السائدة تهبَّان في اتجاهين متعاكسين في نصف الكرة الجنوبي. (الشكل ٤.٤)



الشكل ٤-٤ تيارات الغلاف الجوي التي تشكل الرياح التجارية والرياح الغربية السائدة

يتم تحديد الاتجاه الغربي السائد للرياح التجارية بواسطة ما يعرف في الفيزياء بقوة (كوريوليس)، وهي كما يعرفها علماء الفيزياء، القوة التي تؤثر على الأجسام المتحركة على سطح جسم دوار مثل كوكب الأرض، فتجعلها تنحرف عن مسارها، في حالة الأرض التي تدور من الغرب إلى الشرق، فإن قوة كوريوليس تسبب انحراف الأجسام المتحركة إلى اليمين في نصف الكرة الشمالي وإلى اليسار في النصف الجنوبي. وهكذا نجد أنه في نصف الكرة الشمالي عندما يتدفق الهواء السطحي في خلية هادلي جنوبًا تتسبب قوة كوريوليس في انحراف مساره باتجاه الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي (الرياح التجارية الشمالية الشرقية) في حين تتسبب القوة نفسها في تحريك الهواء السطحي المتجه شمالاً في خطوط العرض الوسطى لخلية فيريل باتجاه الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي (الرياح التجارية الجنوبية الشرقية).

لا يقتصر دور هذه التيارات الجوية الكبرى على ضبط اعتدال مناخ الأرض فقط، ولكنها تحمل معها أيضًا أنظمة الطقس الحاملة للأمطار فوق المناطق القارية – وهو أمر أساسي تعتمد عليه العديد من العمليات الهامة، مثل الدورة المائية، ولولا وجود السحب الحاملة للأمطار التي تحملها هذه الرياح إلى المناطق الداخلية، لقلّت كميات الأمطار في معظم المناطق القارية في العالم، ولتضاءلت فعالية الدورة المائية إلى حد كبير.

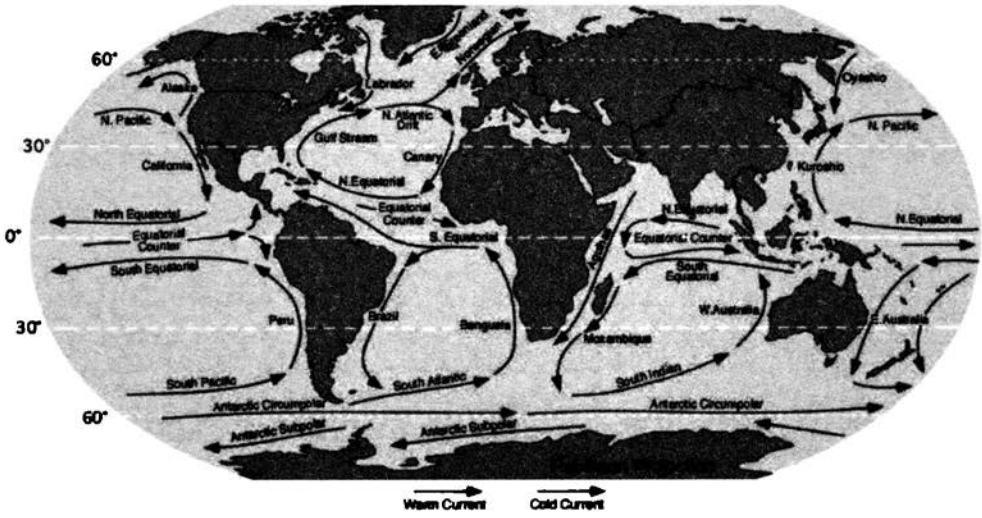
نقل الحرارة عبر مياه المحيطات

كما ذُكر من قبل يتم حمل حوالي ثلثي الحرارة الاستوائية المنقولة نحو القطبين في الغلاف الجوي عبر التيارات الجوية – خلايا هادلي وخلايا فيريل والرياح التجارية والرياح الغربية. أما الثلث الباقي فيتم بواسطة التيارات

المحيطية الكبرى، هناك نوعان من التيارات في المحيطات: التيارات السطحية التي تحركها الرياح أو الدوّامات، (الشكل ٤.٥)، والتيارات العميقة التي تشكل ما يسمى بالدورة الحرارية الملحية، وهي شبكة مترابطة من التيارات البحرية العميقة تتحرك عبر المحيطات.

التيارات المحيطية السطحية: إن الهبوب المستمر للرياح التجارية والغربية على سطح المحيط يولد ما يسميه علماء المناخ "الدوامات الكبرى"، وهي حركات دورانية هائلة للمياه، منها مثلاً دوامة شمال الأطلسي، الناتجة عن تيار الخليج، والتي تنقل المياه الدافئة من منطقة البحر الكاريبي صعودًا بامتداد الساحل الشرقي لأمريكا الشمالية، وهناك ينشأ عنها تيار الأطلسي الشمالي الذي يواصل حمل المياه الدافئة شمالاً إلى الساحل الغربي للنرويج وأرخبيل سفالبارد.

ومنها تيار همبولت الذي ينقل المياه الباردة من القطب الجنوبي على طول الساحل الغربي لأمريكا الجنوبية إلى المحيط الهادي ذي الطبيعة الاستوائية الدافئة، وهكذا عن طريق حمل المياه الباردة باتجاه خط الاستواء (تيار همبولت) أو المياه الدافئة نحو القطبين (تيار الخليج) تلعب التيارات المحيطية الكبرى دورها في النقل الحراري بالحمل، ما يؤدي أيضًا إلى تخفيف حدة التفاوت الكبير في درجات الحرارة المفروضة على الأرض نتيجة طبيعتها الكروية والتوزيع غير المتكافئ للإشعاعات الشمسية على خطوط العرض المختلفة.



الشكل 4.5 التيارات المحيطية السطحية

إن مقدار الحرارة التي يتم نقلها في هذه التيارات البحرية السطحية الكبرى التي تحركها الرياح هو مقدار هائل. ولقد تم إدراك أهميتها في النقل الحراري في عام ١٩١٣م بواسطة العالم الأمريكي (لورنس هندرسون) والذي يقول في أحد تعليقاته حول تيار الخليج:

"في قناة يوكاتان يحمل تيار الخليج ٢.٠ كيلومتر مكعب (مائتا مليون طن) في الثانية الواحدة. إذا تم تبريد كل هذه المياه إلى درجة حرارة المحيط القطبي فإن هذا سيكون معادلاً لنقل حوالي ٥ كوادريليون[١] (٥×١٠^١٥) جرام من السعرات الحرارية في الثانية الواحدة، وتعتمد ضخامة هذه الكمية بالطبع على الحرارة النوعية للماء".[٢]

---

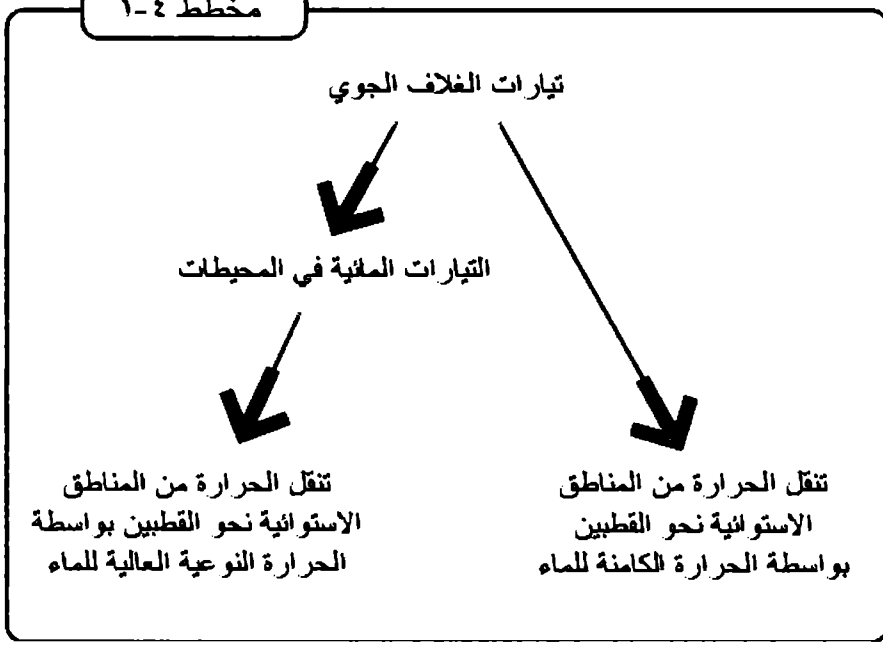
(١) الكوادريليون = ١٠^١٥ (عشرة مرفوعة للقوة ١٥ = أي ١ وأمامه ١٥ صفرًا). [المترجم]

٢) Lawrence Henderson, The Fitness of the Environment: An Inquiry into the Biological Significance of the Properties of Matter (New York: The Macmillan Company, 1913), 182.

وقد أعطى أحد التقديرات الأحدث في الطبيعة للمعدل الذي يتم به نقل الحرارة في تيار الخليج رقمًا في حدود كوادريليون (10^{15}) واط، وهو (كما هو مذكور سابقاً) أكثر من الاستهلاك الحالي للطاقة من قبل الحضارة البشرية. هذا الرقم الهائل هو شهادة كبيرة على القدرة الحرارية للماء!

ليس من المستغرب إذن -مع نقل هذه الكميات الهائلة من الحرارة- أن تُظهر المحاكاة الحاسوبية الحديثة أنه لولا الحرارة التي تحملها التيارات المحيطية السطحية باتجاه القطبين فإن نصف الكرة الشمالي كان سيصير مختلفًا تمامًا، ووفقًا لعالم الرياضيات (جيوفري فاليس) فإن: "**نماذج المحاكاة دون وجود النقل الحراري للمحيطات، أظهرت جميعًا تكوّن ألواح ضخمة من الجليد تغطي خطوط العرض المتوسطة والبعيدة عن خط الاستواء، ما يجعل المناخ العام أكثر برودة بكثير مما هو عليه الآن**".[1]

مخطط ٤-١



(١) Geoffrey K. Vallis, Climate and Oceans (Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2012), 123.

وترجع قدرة هذه التيارات المحيطية على حمل مثل تلك الكميات الهائلة من الحرارة في جميع أنحاء الكوكب بالتأكيد إلى ارتفاع درجة الحرارة النوعية أو السعة الحرارية للماء، كما أن لزوجة الماء وكثافته تلعبان أيضًا دورًا مهمًا، إذ يجب أن تكون لزوجة وكثافة المياه تقريبًا كما هما عليه وإلا ستكون التيارات المحيطية مستحيلة الحدوث، على سبيل المثال، لو كانت المياه لزجة مثل العسل الأسود لكانت المحيطات غير متحركة، ولن تكون هناك أمواج ولا اضطرابات في المياه، ولن تكون هناك أية دوامات لتحسين المناخ.

التيارات المحيطية العميقة: من الطبيعي أن تكون جميع التدفقات المستمرة للهواء في الجو أو للمياه في المحيطات (خلايا هادلي وفيريل والدوامات السطحية، وغيرها) دورانية في نهاية المطاف، إذ لا يمكن للهواء ولا الماء أن يتدفقا باستمرار في اتجاه واحد، وكما رأينا في الشكل (٤.٥) فإن الدوامات الكبرى هي في الأساس حركات دائرية أفقية للمياه، لكن الدوران السطحي الأفقي يتعزز بنوع آخر من الحركة الدورانية: دورة عمودية تنطوي على تيارات هابطة للمياه السطحية في أجزاء من محيطات الأرض، وتيارات صاعدة في أجزاء أخرى، وتتصل التيارات الهابطة مع التيارات الصاعدة عبر مجموعة واسعة من تيارات قاع المحيط والمعروفة باسم الدورة الحرارية الملحية، وبسبب هذا الاتصال نجد أن التيارات الهابطة للمياه الباردة والثقيلة في المناطق القطبية في شمال المحيط الأطلسي تلعب دوراً في تكوين تيار الخليج، في حين أن التيارات الصاعدة للمياه الباردة والعميقة في اتجاهها شمالاً من الجزء الجنوبي لقارة أمريكا الجنوبية على طول سواحل تشيلي وبيرو تسمح لتيار همبولت بالحدوث.

توضح خرائط التيارات بكل بساطة كيف يمكن لتيار سطحي تولده الرياح (في هذه الحالة تيار همبولت) والذي يدفع المياه السطحية باستمرار في اتجاه واحد أن يتسبب في حدوث تيار صاعد تكميلي من مياه المحيط العميقة، عن طريق سحب المياه من أعماق المحيط وتوليد تيار محيطي عميق، من ناحية أخرى ففي حالة تيار الخليج كما ذُكر سابقًا فإن التيار الهابط من المياه الباردة والمالحة الثقيلة في شمال المحيط الأطلسي هو الذي يسحب المياه الدافئة لتيار الخليج شمالاً.

وكما ذكرنا في الفصل السابق حيث تم وصف العملية بمزيد من التفصيل، فإن السبب الرئيسي لهبوط المياه هو أن كثافة مياه البحر تستمر في الزيادة حتى ١.٨- درجة مئوية وهو ما يدعم التيارات الهابطة لمياه البحر القطبية الباردة، وهنا مرة أخرى وكما هو الحال بالنسبة للعديد من خصائص الماء الأخرى، فمن الصعب تجنب الانطباع بأن الماء مناسب بشكل خاص لخدمة غايات محددة للغاية تساعد في وجود الحياة على كوكب الأرض، وتفصيل ذلك أنه لو كانت مياه البحر تبلغ كثافتها القصوى عند درجة حرارة ٤ مئوية فمن المرجح أن المياه السطحية كانت ستستمر في الهبوط، ولكن الحركة الدورانية الناتجة ستكون أقل قوة وفعالية بشكل كبير في ظل التيارات الهابطة البطيئة في مثل تلك الحالة، وسوف تكون التيارات السطحية محدودة إلى حدٍ كبير، وسيتوقف التأثير الملطف لتيارات المحيط، في تلك الظروف لربما أصبحت مدينة نيويورك مغطاة بالفعل بالثلوج بشكل شبه دائم، وليس فقط أثناء العاصفة الشتوية الموسمية.

في الوقت الحالي يشعر بعض علماء المناخ بالقلق من أنه إذا استمر الاحتباس الحراري، فقد يتوقف تبريد المياه السطحية في شمال المحيط

الأطلسي والذي يتسبب في التيارات الهابطة للمياه الباردة الكثيفة التي تسحب مياه تيار الخليج الدافئة شمالًا، ويخشى علماء المناخ من أن ذلك سيكون له آثار كارثية على مناخ شمال غرب أوروبا وأمريكا الشمالية.

ولكن سواء كانت هذه التنبؤات القاتمة واقعيةً أم لا، فلا شك أن إحدى الخواص الخفية والفريدة من نوعها لمياه البحر تلعب دورًا مهمًا في تمكين الحركة الدورية للتيارات البحرية الكبرى. تلك التيارات التي تلعب دورًا هامًا في انتقال الحرارة من المناطق الاستوائية إلى خطوط العرض العليا.

الخلط والتقليب: بالإضافة إلى زيادة تدفق التيارات السطحية، فإن التيارات المحيطية العميقة تقوم بدورٍ آخر، وهو أنها تقوم بخلط وتقليب مياه المحيطات، فتبقيها متجددة وتعيد توزيع محتواها من المعادن والمواد الغذائية الذائبة، ويتضح هذا بشكل مذهل في حالة تيار همبولت حيث يؤدي التيار الصاعد الحامل للعناصر الغذائية من أعماق المحيط إلى انتشار واسع للحياة البحرية، بصورة لا مثيل لها في أي مكان آخر على الأرض.

ويمكن بوضوح إدراك الدور الهام للدورة الحرارية الملحية في إبقاء البحار متجددة وملائمة للحياة من خلال عملية التحريك والخلط عند مقارنة ما يحدث في المحيطات بما يحدث في البحيرات الاستوائية، نظرًا لأن المياه السطحية في تلك البحيرات لا تبرد أبدًا إلى درجة كبيرة فإن دوران المياه أقل كثيرًا منه في المحيطات، وقد يؤدي هذا في بعض الأحيان إلى تراكم خطير للغازات في أعماق البحيرة، وقد حدث هذا في عام ١٩٨٦م في بحيرة نيوس في إفريقيا عندما نتج عن الانبعاث المفاجئ لغاز ثاني أكسيد الكربون من قاع البحيرة تكون سحابة كارثية من الغاز الخانق، ما أسفر عن مقتل أكثر من ألف شخص.

يلخص (ويليام كرومي) كاتب العلوم والمساهم لفترة طويلة في جريدة هارفارد، مساهمة التيارات البحرية في سلامة البحار والمناخ الأرضي قائلاً:

"تؤدي الفروق الطفيفة في درجة الحرارة والملوحة إلى حدوث اختلافات في الكثافة يمكنها تحريك محيطات كاملة أفقيًا وعمودياً، هذه الاختلافات جنبًا إلى جنب مع قوى الرياح والجاذبية هي التي توزع أملاح البحر بشكل متساوٍ، وهي التي تُلطف درجات الحرارة على كوكبنا وتخلط كل مياه المحيطات معًا".[1]

مكتبة
t.me/t_pdf

الخلاصة

لاحظنا أن أحد الجوانب الرائعة في آليات المناخ هي أن الخواص الحرارية للمياه - مثل الحرارة الكامنة للتبخر في الجو والسعة الحرارية النوعية في المحيطات - هي القلب النابض لنظام المناخ بأكمله، حيث تقوم بالجزء الأكبر من العمل؛ وهو نقل وإعادة توزيع الحرارة في جميع أنحاء العالم، ولو لم يكن لأيٍ من هاتين الخاصيتين القيم العالية التي لديهما، لتوقفت آلة المناخ بأكملها، ولربما غطى الجليد بصورة دائمة المنطقة التي توجد فيها مدينة نيويورك حاليًا، ولأصبحت جميع المناطق الاستوائية ذات مناخ ملتهب كالجحيم.

ذلك لأن الخواص الحرارية للمياه هي التي تساعد في إنتاج التيارات الجوية (عبر خلايا هادلي وفيريل وغيرها) وهي التي تسهم في التيارات المحيطية، وهي التي تستخدمها التيارات المحيطية أيضًا من أجل إعادة توزيع

---

(١) W. J. Cromie, Exploring the Secrets of the Sea (London: George Allen and Unwin Ltd, 1964), 53.

الحرارة بشكل أفضل، وباختصار، الخواص الحرارية للماء هي التي تخزن وتنقل وتوزع الحرارة حول الأرض. فلو كانت الخصائص المتنوعة للماء مختلفة كثيرًا عما هي عليه في الطبيعة، ولو لم تكن سعته الحرارية والحرارة الكامنة للتبخر عالية بشكل استثنائي، لما تمكنت آليات المناخ من العمل والقيام بدورها السحري في ضبط اعتدال المناخ، ولما كان لدينا خلايا هادلي أو فيريل ولا رياح سائدة مثل الرياح التجارية والغربية، ولما كان هناك وجود للتيارات المحيطية.

ولو كانت لزوجة الماء أعلى بكثير لتوقفت التيارات المحيطية تمامًا، ولو كانت الكثافة القصوى لمياه البحر هي نفسها كثافة المياه العذبة لتوقفت التيارات الهابطة في البحار القطبية ولانتهى أمر الكثير من التيارات السطحية.

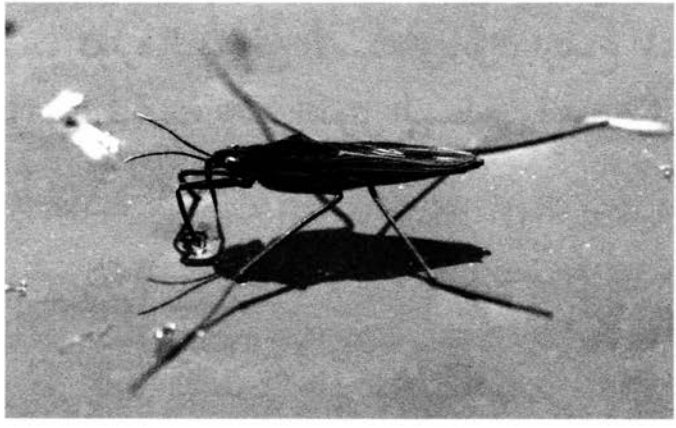
ليس هناك أدنى شك في أن آليات المناخ مفيدة لكل أشكال الحياة على كوكب الأرض، فالتيارات الصاعدة تؤدي إلى وفرة هائلة من الكائنات البحرية، وتيارات تحمل كميات هائلة من المياه إلى الأرض فتدعم الدورة المائية والحياة البرية، ولكن من الصعب القول بأن جميع آليات المناخ ضرورية للحياة على الأرض، لأن الحياة الميكروبية البسيطة بوسعها البقاء في ظل ظروف أشد قسوة، لذلك يجب اعتبار عملية حفظ التوازن المناخي بمثابة الهبة المجانية من أجل تحسين الظروف البيئية على الأرض بدرجة كبيرة، خاصةً بالنسبة لأشكال الحياة المتطورة والمعقدة.

إن مثل هذه المكافآت تؤكد أن ما نراه حولنا من ظواهر وآليات مناخية على الأرض هي ظواهر ملائمة للمخلوقات التي مثلنا نحن البشر، وليس مجرد أنها ملائمة لأشكال الحياة على وجه العموم.

الفصل الخامس

الماء والأشجار والضوء

لا تتعجب عزيزي القارئ إذا شاهدت يوماً بعض الحشرات، مثل البق المتزحلق، أو الخنافس الدوّامة، تسير أو تتزلج على الماء بحركات أو دوامات مبهجة، ذلك لأن الماء يتمتع بخاصية يتفوق فيها على جميع السوائل، باستثناء الزئبق، وهي أنه ذو توتر سطحي كبير، ولو أن هذه الحشرات حاولت أن تسير أو تتزلج على سائل آخر مثل الكحول مثلاً، لكان مصيرها الغرق، وما يمنح الماء توتره السطحي العالي وتماسكه الفريد وقدرته على إذابة المواد ووجوده في صورة سائلة في درجات الحرارة المحيطة هو شبكة الروابط الهيدروجينية التي توجد فيه وتربط بين ذراته.



الشكل ٥.١ البق المتزحلق على الماء

إن كون التوتر السطحي العالي للماء ملائم لنمط حياة بَقِّ الماء المتزحلق والخنافس الدوامة يُعتبر أمراً لا يُذكر مقارنة بملائمة الماء للدورة المائية، وتليين

الطبقة الصخرية الواقعة تحت طبقات القشرة الأرضية، والحفاظ على المحيطات، وتنظيم درجة حرارة الأرض.

لقد رأينا في الفصل الأول الدور الهام الذي يلعبه التوتر السطحي في عمليات الحت والتعرية، والتي من فوائدها أنها تسمح بتكوين التربة عن طريق دخول الماء إلى الشقوق الضيقة للصخور التي تتفتت عندما يتجمد هذا الماء، كما أن هذا التوتر السطحي العالي - وبالتعاون مع خصائص الماء الأخرى - يساعد في استخلاص وتنقية المعادن والعناصر الغذائية الأساسية من الصخور، وإيصالها إلى الكائنات الأرضية.

ومن الوظائف الحيوية الهامة التي يساهم فيها التوتر السطحي، دوره الذي لا غنى عنه في نمو النباتات عن طريق صعود الماء إليها بالخاصية الشعرية من التربة المحيطة بالجذور. وقد أكد لورانس هندرسون على هذه النقطة في كتابه "ملاءمة البيئة" قائلاً: "**إن العامل الأساسي في وصول الماء إلى النباتات هو توتره السطحي الاستثنائي، وإن ارتفاع الماء في النظم الشعرية مثل التربة تحت تأثير التوتر السطحي قد يصل إلى عشرة أقدام** (قرابة ٣ متر)".[١]

الأشجار: حكايتها مذهلة

لا يقتصر دور التوتر السطحي على سحب المياه من التربة، ولكنه أيضا يلعب دورا هاما في سحبها إلى قمم النباتات، بما في ذلك قمم الأشجار الباسقة.

---

(١) Lawrence J. Henderson, The Fitness of the Environment: An Inquiry into the Biological Significance of the Properties of Matter (New York: The Macmillan Company, 1913), 126–127.

الشكل 5.2 أشجار باسقة

وهذا ليس أمراً ثانوياً على الإطلاق، لأنه لولا صعود الماء إلى قمم الأشجار الباسقة، لما نمت تلك الأشجار، ولما أمدت البشرية بالأخشاب، ولولا تلك الأخشاب لما اكتشف البشر النار، وأتقنوا استخدامها، ولا يخفى على أحد أن اكتشاف النار كان خطوة حاسمة مكَّنَت أجدادنا القدماء من صهر المعادن، ولا يخفى على أحد أهمية صهر المعادن في تطوير التعدين والتكنولوجيا المتقدمة، ويُعتبر الخشب (أو الفحم - وهو أحد مشتقات الخشب-) هو الوقود الكربوني الوحيد المناسب لإنتاج النار ذات الحرارة العالية التي استُخدمت لقرون طويلة - وما تزال - في عملية التعدين.

يصف الكاتب ستيفين فوجيل في كتابه (حياة ورقة) الطريقة التي تصعد بها المياه إلى قمم الأشجار بأنها حكاية مذهلة،[١] وقد تبين أن هذا الصعود لا يعتمد على التوتر السطحي العالي للماء فحسب، بل يعتمد أيضا على قدرة الماء الفريدة على التماسك والتلاصق، وهذه القدرة شأنها شأن التوتر السطحي، ناتجة عن الروابط الهيدروجينية للماء.

من المذهل والمدهش أن الماء يمكن أن يرتفع بواسطة الخاصية الشعرية - نتيجة التوتر السطحي - بسهولة إلى ما يقارب ألف متر إذا كان الأنبوب الذي يرتفع فيه الماء ضيقا بما يكفي.

ويكون التوتر السطحي في الأنابيب التي يبلغ قطرها عشرة نانومتر (المليمتر يساوي مليون نانومتر) قوياً جداً لدرجة تمكنه نظرياً من أن يرفع الماء لارتفاع يصل إلى ثلاثة كيلومترات (أي مِيلَيْن تقريباً)، [٢] وقد وُجد أن مقاومة الماء للتدفق في مثل هذه القنوات الدقيقة عالية جداً بسبب اللزوجة التي يتمتع بها (وهي مقياس للاحتكاك الداخلي)، فرغم أن القنوات الموجودة في الأشجار والتي يبلغ قطرها ٠.٠٣ إلى ٠.٣ من المليمتر (٣٠ إلى ٣٠٠ ميكرومتر) واسعة كفاية للسماح بتدفق الماء لأعلى بأقل مقاومة، إلا أن قنوات شعرية بقطر ٣٠ ميكرومتر بإمكانها أن ترفع المياه إلى ارتفاع ١.٥ متر فقط، وقنوات بقطر ٣٠٠ ميكرومتر أسوأ من ذلك بعشر مرات أي إنها ترفع الماء إلى ارتفاع ١٥ سنتيمتراً (٦ بوصات) فقط، وكلما ضاقت الأنابيب، زادت مقاومة الماء للصعود، وهنا يظهر سؤال هام وهو:

---

(١) Stephen Vogel, The Life of a Leaf (Chicago: Chicago University Press, 2010), Chapter 6.

(٢) N. Michele Holbrook and Maciej A. Zwieniecki, "Transporting Water to the Tops of Trees," Physics Today 61 (2008): 76–77.

كيف يستطيع الماء الصعود إلى ارتفاع ١٠٠ متر في الأشجار باستخدام الخاصية الشعرية – وهو ما يتطلب أنابيب دقيقة جدا – مع أن قطر الأنابيب الشعرية في السيقان ليس بالدقة المطلوبة؟

والجواب: هو أن أوراق الأشجار تحتوي على أوعية شعرية دقيقة جدا، قادرة على أن تولّد قوة سحب ترفع الماء إلى مسافة ١٠٠ متر، وهذه الأوعية متصلة عن طريق العروق الموجودة في الأوراق، بالقنوات الواسعة الموجودة في سيقان الأشجار، والتي ترفع الماء من التربة عبر الجذور، فالماء يسري في قنوات عريضة نسبياً تخفف من مقاومة اللزوجة، ولكن يتم سحبه بواسطة القوة الهائلة المتولدة في القنوات الشعرية للأوراق، وهكذا فإن هذه الآلية المدهشة لسحب الماء، تمكنه من الصعود إلى ارتفاعات شاهقة بالقوة الشعرية للأوراق، وفي الوقت نفسه تجنبه مقاومة اللزوجة للارتفاع، لأنه يسري في قنوات الساق الواسعة نسبياً.

النقطة الرئيسية هنا إذن هي أن القوى الشِعرية اللازمة لسحب الماء لا تتولد في القنوات الرئيسية الموجودة في ساق النبات، بل في القنوات الشعرية شديدة الدقة الموجودة في أوراق الأشجار، وبالتحديد في سطوح الأوراق التي يتصل بها الماء بالهواء، فعلى سطح أوراق الأشجار توجد ألياف مجهرية من مادة السيليلوز، قابلة للبلل، وعندما تتبلل تتباعد فيما بينها لتتولد قنوات دقيقة جداً قطرها ما بين ٥ إلى ١٠ نانو متر، والقوة الشعرية في هذه القنوات الدقيقة هي التي تقوم بسحب الماء، فهذه الأقطار الصغيرة هي التي تجعل من التوتر السطحي قوةً قادرة على سحب الماء إلى ارتفاع يصل لثلاثة كيلومترات.

ولتلخيص ما سبق، يمكن القول بعبارات أخرى، إن سحب الماء لأعالي

الأشجار يتم على مرحلتين:

الأولى توليد قوى توتر سطحي هائلة في المسامات الشعرية على سطح أوراق الأشجار، وهي السطوح التي يلتقي الماء عندها بالهواء.

والثانية أن تقوم هذه القوى بسحب الماء من سيقان الأشجار، عبر قنوات هي أكثر اتساعا من تلك الموجودة في الأوراق، بحيث تسمح بصعود الماء دون مقاومة من لزوجته، وهكذا يتم حل مشكل مقاومة لزوجة الماء للصعود.

هذا عن سحب الماء عبر السيقان من الأوراق، ولكن ما الذي يسحب الماء من الجذور عبر القنوات إلى الجذوع ثم الأوراق في قمم الأشجار؟

والإجابة على هذا السؤال تكمن في التبخر.

نعم التبخر الذي يحدث على سطوح أوراق الأشجار، فهذا التبخر يولد قوى ضغط سلبية تنتقل عبر القنوات الشعرية في الأوراق إلى نقاط التقاء الأوراق بالأغصان، ومنها إلى شبكة القنوات الموجودة في الشجرة بين الجذر والأوراق، وليس هذا سوى تطبيق لقانون معروف في علم ميكانيكا السوائل (الهيدروليك)، وهو أن الضغط في أي جزء من نظام هيدروليكي مغلق ينتقل إلى كافة الأجزاء، فعندما تُفقد كمية من الماء من الأوراق بواسطة التبخر، يجب أن يحل محلها كمية أخرى بسبب الضغط الموجود في نظام القنوات المغلق، والسبيل الوحيد المتوفر هو عبر الجذور الممتدة في التربة.

وبذلك فإن الفقد المستمر للماء عبر الأوراق، يسبب في النهاية سَحب الماء من الجذور إلى السيقان إلى الأوراق، ومنها يتبخر في الهواء.

الشكل ٥.٣ ورقة من شجرة

وهنا يتبادر إلى الأذهان سؤالٌ: لماذا لا ينقسم عمود الماء إلى أجزاءٍ عندما يتم سحبه من أعلى؟ تكمن الإجابة في تماسك السوائل -المذكور سابقا- والذي هو أكثر وضوحاً في المياه مقارنةً بنظيراتها، وسبب تميز الماء به يرجع إلى شبكة الروابط الهيدروجينية التي ذُكرت سابقاً، وبسبب هذه الخاصية، يستطيع عمود من الماء المحصور في أنبوب ضيق أن يقاوم قوة الشد، نعم، قد تبدو مقاومة الماء للشد أمرا غير مألوف ولكنها حقيقة، وقد أثبتت التجارب، أن عموداً من الماء محصوراً في أنبوب قطره سنتيمتر مربع واحد، يستطيع أن يقاوم قوة شد تكفي لحمل ٣٠٠ كيلوغرام،[١] ومن المدهش أن قوة مقاومة الشد في الحديد تزيد عن مثيلتها في الماء بعشر مرات فقط. رغم التفاوت الشديد بين صلابة الحديد وسيولة الماء، وهذه القوة التي

---

(١) Stephen Vogel, The Life of a Leaf (Chicago: Chicago University Press, 2010), 101.

يصعب تخيلها، والتي تتمتع بها السوائل -والماء بشكل خاص- هي ما يسمح للضغط السلبي الناتج من تبخر الماء من الأوراق بسحب المزيد من الماء من الجذور إلى ارتفاع يصل إلى ألف متر دون أن يصيب أعمدة الماء الواصلة بين الجذور وأعالي الأشجار أي انقطاع أو تكسر، ولو حدث هذا الانقطاع لاختل النظام الهيدروليكي لأقنية نقل المياه عبر الأشجار بشكل كامل، ولما تمكنت الأشجار من الاستمرار في الحياة.

وهكذا نرى أن صعود المياه إلى أعالي الأشجار يعتمد على آلية مدهشة رائعة، قوامها اثنتان من الخصائص الفيزيائية للماء: التوتر السطحي الهائل الذي يتولد بوجود الماء في الأنابيب الضيقة، وقوة الشد التي يتمتع بها الماء والتي تمنع تقطع أعمدة الماء في الأشجار عند حدوث التبخر.

وليس هناك أي بديل يمكن أن يحل محل هذه الآلية المذهلة التي تقوم بها الأشجار، ويتحدث العالم ستيفن فوجيل عن هذه الآلية بانبهار شديد في كتابه (حياة ورقة) فيقول:"**إن نظام الضخ في النباتات ليس به أي أجزاء متحركة ولا يستهلك طاقة، ويستطيع نقل مياه أكثر مما يُمكن أن تنقله أجهزة الدورات الدموية للحيوانات مجتمعة، كما أنه يفعل هذا ضد مقاومة أعلى، وليس له أي صلة بالتقنيات الحديثة للإنسان**".[١]

يمكن أن نطلق على الأشجار بحق أسياد التحكم بالسوائل في الأوساط المجهرية،، فعدد قنوات النقل المتصلة في جذع الشجرة الكبيرة الواحدة يمكن أن يتجاوز مئات الملايين، كما أن طولها الكلي قد يتجاوز عدة آلاف من الكيلومترات، وعلاوة على ذلك فإنه في يوم مشمس تستطيع الشجرة أن

---

(١) Stephen Vogel, The Life of a Leaf (Chicago: Chicago University Press, 2010), 91.

تنقل آلاف الجالونات من الماء من التربة إلى الأوراق بدون مجهود يُذكر أو إصدار صوت أو تحريك أي جزء، علماً بأن قوانين الفيزياء التي تستخدمها الأشجار في ذلك معروفة لنا، ولكن الطريقة المدهشة التي يتم بها تطبيقها في القنوات الدقيقة داخل الأشجار يُنتج نظام نقل عجيب غير مألوف وبعيد جداً عن الأنظمة التي نعرفها في حياتنا اليومية.

ولا بد من الإشارة إلى أنه بالإضافة إلى الأهمية الجوهرية لتلك الآلية الفريدة لسحب الماء في بقاء الأشجار، ، فهناك عوامل أخرى لا غنى عنها، منها مثلاً الخصائص الفريدة للخلايا المكونة للألياف الخشبية والسليلوز، تلك الخصائص تمنح سيقان الأشجار قوة الشد والمتانة، ومن تلك العوامل، عملية التبريد بالتبخير -نوقشت في وقت سابق- التي يمنحها الماء للأوراق فيحميها من الجفاف عند ارتفاع حرارتها نتيجة سقوط أشعة الشمس عليها، وأخيرا تعتمد الأشجار في بقائها على خصائص التربة التي تجعلها قادرة على الاحتفاظ بالماء بين ذراتها لتتمكن الأشجار من امتصاصه.

التركيب الضوئي[1] Photosynthesis

إن الهدف من سحب الماء من التربة إلى جذور النباتات ثم إلى سيقانها هو إيصال ما يحويه من العناصر الغذائية الضرورية للحياة إلى الأوراق التي تحدث فيها أهم التفاعلات الكيميائية على سطح الأرض وهو التمثيل الضوئي.

وخلاصة هذه العملية الحيوية العجيبة، أنه يوجد في أوراق الأشجار مادة ماصة للضوء هي الكلوروفيل (أو اليخضور)، هذه المادة تقوم بامتصاص

---

(١) بعض المراجع العربية تسميه (التمثيل الضوئي) أو (التخليق الضوئي). [المترجم]

الضوء، ويقوم الضوء بزيادة الطاقة الموجودة في إلكترونات اليخضور إلى مستويات أعلى، ويتم استخدام هذه الطاقة الإضافية في تفاعل كيميائي يفكك ذرة الماء إلى أوكسيجين وهيدروجين، أما الأوكسيجين فينطلق في الهواء، وأما الهيدروجين فيتفاعل مع غاز ثاني أوكسيد الكربون الذي تمتصه الأوراق من الهواء، ليتشكل من هذا التفاعل جزيئات السكر وغيرها من الجزيئات اللازمة لتغذية النبات، ويمكن تلخيص ذلك بمعادلة كيميائية بسيطة، أغلبنا قد درسها في المدرسة:

$$CO_2 + H_2O + \text{ضوء} \text{ ---------->> } (CHO) + O_2$$

ثاني أكسيد الكربون + ماء + ضوء ----------->> أوكسجين +كربوهيدرات

وإذا أردنا أن نتحدث بدقة، فإن الأوّلى تسمية هذا النوع من التركيب بالتركيب الضوئي **الأوكسيجيني**، وهو ذلك النوع الذي يحدث في النباتات الخضراء، بينما في الأنواع الأخرى يتم استخدام الطاقة الشمسية لتكوين المركبات العضوية دون تفكيك الماء وتحرير **الأوكسجين**، وتعتمد كل أشكال الحياة المتقدمة على **الأوكسجين** المتحرر من التمثيل الضوئي، وكذلك على الوقود العضوي الذي تكونه النباتات أثناء هذه العملية.

وكما يتعلّم الجميع في المدرسة فإن الطاقة المستخدمة في هذه العملية مأخوذة من الضوء المرئي، وهو الوحيد القادر على توفير الطاقة التي تستخدم في هذه التفاعلات، ولكن الذي قد لا يعلمه الكثيرون أن مجال طول الأمواج الضوئية، لا يشكل إلا جزءًا غاية في الصغر من مجال الأمواج الكهرطيسية التي تطلقها الشمس، وهو مجال واسع جدا فوق التصور، يكفي معرفة أن طول أطول موجة في هذا الطيف يزيد بمقدار $١٠^{٢٥}$ ضعفاً عن طول أقصر موجة، ولبيان ضآلة مجال الأشعة الضوئية ضمن هذا الطيف

الواسع، لا بد من ضرب مثال: لنتخيل أننا أردنا صُنع بناءٍ من أوراق لعب عددها ١٠ [٢٥] ورقة، فإننا سنصنع بناءً يمتد إلى منتصف الكون المعروف، وسيكون مجال الضوء المرئي يشكل ورقة واحدة فقط في هذا البناء. على الرغم من أن الطول الموجي للشعاع الكهرومغناطيسي في الكون يتفاوت ضمن هذا النطاق الهائل، فإن سبعين بالمائة من هذه الأشعة المنبعثة من الشمس تتركز في المنطقة الصغيرة جداً التي تمتد من الأشعة فوق البنفسجية (٠.٣٠ ميكرو) عبر منطقة الضوء المرئي إلى الأشعة تحت الحمراء (١.٥٠ ميكرو)، وهذا بالضبط مجال طول الأشعة اللازم لإحداث التفاعلات الكيميائية في عملية التركيب الضوئي، وبعبارة أخرى فإن أغلب أشعة الشمس تتركز فيما يمكن استخدامه في التمثيل الضوئي،[١] وهذا ينطبق أيضاً على النجوم التي تملأ السماء فوقنا، وتتلألأ أضواؤها في الليل، وهذا يعني أن الكون مليء بالضوء الملائم لعملية التمثيل الضوئي.

شفافية الماء

الكلام السابق يقودنا إلى حقيقة مذهلة، وأعجوبة مدهشة، تتعلق بمدى ملائمة الماء للحياة، لقد وجدنا أن أطوال الأشعة الكهرومغناطيسية تتفاوت ضمن مجال هائل يفوق التصور، ولكن يا للعجب، إن الماء يمتص بقوة كل الأشعة الكهرومغناطيسية من جميع مناطق الطيف الكهرومغناطيسي إلا منطقة الضوء المرئي، وهي المنطقة الوحيدة في كل الطيف التي يمكن الاستفادة منها في التركيب الضوئي، وتلك واحدة من أكثر العجائب

---

(١) George Wald, "Life and Light," Scientific American, 201, no. 4 (1959): 92–108.

إدهاشاً في الطبيعة، فكأن الماء اختار ورقةً واحدةً من كومة أوراق تتألف من ١٠ [٢٥] ورقة منتشرة خلال الكون.

وعلاوة على ذلك فإن الماء في أطواره المادية الثلاثة: الصلبة والسائلة والغازية، شفاف للضوء المرئي، ولو أن الماء أو بخاره الموجود في الغلاف الجوي يمتصان الضوء اللازم لعملية التمثيل الضوئي لما حدثت هذه العملية، ولما كان هناك أوكسجين أو وقود كربوني أو أي مواد عضوية لازمة للقيام بالعمليات والتفاعلات المطلوبة لقيام الحياة على الأرض.

لا يقتصر دور الماء هنا على أنه يسمح فقط للضوء المطلوب بالمرور خلاله، بل هو أيضاً يمتص الأشعة الضارة غير المرئية، والتي لو سمح لها بالمرور لما قامت حياة على الأرض، وهي الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء، وهذا الامتصاص للأشعة الضارة يقوم به الماء الموجود في البحار والمحيطات وبخار الماء المعلق في الهواء.

أليس من المصادفات المدهشة أن الأسباب التي تتطلب أن يكون الماء شفافاً فقط بالنسبة للطيف الضئيل من أمواج الضوء المرئي، لا علاقة لها بالأسباب التي تتطلب من تلك الأشعة أن تكون الطاقة الناتجة عنها هي بالضبط الطاقة اللازمة لعملية التركيب الضوئي؟

وكما تقول الموسوعة البريطانية: "**لا يمكن للمتأمل في أهمية الضوء للحياة إلا أن يكون في غاية الدهشة من التوافق المذهل بين مجال امتصاص الغلاف الجوي للأشعة الضوئية، ومجال شفافية الماء لتلك الأشعة**".[١]

---

١) Encyclopedia Britannica, 15th ed., "Electromagnetic radiation" (Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1994), 203.

شفافية الجليد:

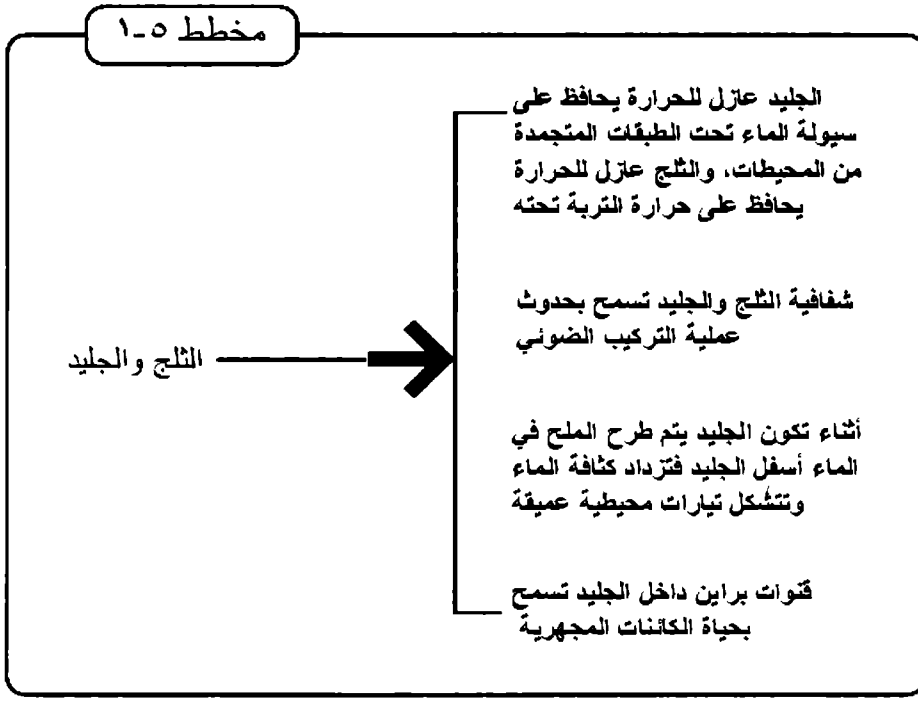
قد ذكرنا آنفا أن الجليد أيضاً يسمح بمرور أشعة الضوء، بل إن سماكة مترين من الجليد لا تمنع مرور الضوء عبره، وهذه الشفافية للضوء التي يتمتع بها الجليد، والتي لا يتمتع بها معظم العناصر الصلبة الأخرى في الطبيعة، تسمح بحدوث عملية التركيب الضوئي للمساحات الخضراء التي يغطيها الجليد، وللنباتات البحرية في المناطق القطبية، وهي شريان الحياة للأحياء المائية القطبية، مثل البطاريق والحيتان وغيرها من الكائنات البحرية.

وهناك ميزة أخرى مدهشة سببها الطريقة التي يتم بها تكوّن الجليد على سطح البحار والمحيطات في المناطق المتجمدة، وهي أن الماء المالح عندما يتجمد يُحدث أمراً عجيباً، حيث يقوم بطرح جزيئات الملح منه أثناء تجمده، وإذا بالجليد يتكون من حبيبات كريستالية من الماء الصافي، تترك بينها فراغات على شكل أنابيب دقيقة جداً (تسمى قنوات براين)، يتجمع فيها بقية من الماء شديد الملوحة، وفي هذه القنوات تعيش عوالق نباتية وكائنات بحرية صغيرة، ما كان لها أن تعيش في تلك القنوات، لولا وصول الضوء إليها عبر الجليد، لتقوم بعملية التمثيل الضوئي، ويصل إليها الأوكسجين من الماء الذي يتسرب إليها من أسفل الجليد بسبب تموجات ماء البحر، وتشكل تلك القنوات حماية لها من المفترسات البحرية.

يضاف إلى ما سبق، أن الجليد يفاجئنا بخصائص أخرى مدهشة تساهم في جعل أرضنا ملائمة لاستمرار الحياة، منها مثلاً أن الجليد ناقل ضعيف جداً للحرارة، أي بتعبير آخر هو عازل حراري جيد، وقد أدرك العلماء أهمية هذه الميزة قبل أكثر من قرنين، من ذلك ما لاحظه العالم جي سي لودون في موسوعته الزراعية التي نشرها عام ١٨٢٤م حيث أوضح أن الثلج عندما

يغطي التربة الزراعية، وكذلك الجليد في المناطق القطبية الباردة، يقوم بدور الحافظ لجذور النباتات تحت الأرض، لأن الحرارة قد تصل في جو الشتاء إلى درجات باردة جداً لا تحتملها جذور النباتات (قد تصل إلى أكثر من ٥٠ درجة تحت الصفر أحياناً)، ولكن الجليد والثلج يعزلان التربة عن تلك الدرجات شديدة البرودة، وبذلك يحافظان عليها حتى حين الربيع، ثم يقوم الجليد بوظيفة أخرى هامة عندما يذوب، ذلك أن الماء عندما يتجمد يزيد حجمه بنسبة ١ إلى ١٢ من حجمه الأصلي، ثم يعود لحجمه الأصلي عند الذوبان في الربيع، وعملية التمدد ثم التقلص هذه تتم على سطح التربة، وتؤدي إلى تحريك ذرات التربة السطحية وفصل ذراتها بعضها عن بعض، مما يجعل تلك التربة أكثر نفاذً للماء اللازم لتغذية وسقاية النباتات.[١]

مخطط ٥-١



(١) J. C. Loudon, Encyclopaedia of Gardening (London: Longman, Hurst, Rees, Orme, Brown, and Green, 1824), 253.

وبسبب العزل الجيد للجليد، لا يجد المسافرون عبر المناطق القطبية مشكلة في أن يتخذوا من الجليد فُرشاً وأسرّةً ينامون عليها، وكما نعلم فإن بيوت سكان الإسكيمو يبنونها من الجليد، فلا يوجد مادة أفضل منه تقيهم من البرد القارس في الشتاء.

شفافية الماء وحاسة النظر

ما كان للأنماط المتقدمة من الحياة أن تقوم لولا قدرتها على الإبصار، وهي مدينة بهذه القدرة لشفافية الماء، ونعني بها هنا المجال المحدود من طيف الأمواج الكهرطيسية الذي يسمح الماء بنفاده، وهو نفسه مجال الرؤية البصرية، لذلك نجد الكاتب جوناثان لير قد اختار أن يبدأ كتابه الممتع عن أرسطو بقول أرسطو حول حاسة النظر: "**ينزع الإنسان بفطرته إلى المعرفة، ويكون ذلك عن طريق الحواس المعروفة، وفي مقدمتها حاسة النظر، تلك الحاسة التي يفضلها البشر ويعتمدون عليها أكثر من أي حاسة أخرى، ليس فقط لأنها أساسية للقيام بأي عمل، ولكن أيضا لأنها الحاسة التي يستطيعون بواسطتها الحصول على أكبر قدر من المعرفة، وعلى التمييز بين الأشياء**".[١]

لا نستطيع إلا أن نؤيد أرسطو في قوله هذا، فحاسة البصر في الحقيقة هي أهم حواس الإنسان على الإطلاق، ولا يجادل أحد في أن التطور التكنولوجي الذي أوصل الإنسان لتصميم السفن الفضائية، ما كان ليتم لولا حاسة البصر، ولولا شفافية الماء التي تسمح للطيف الضوئي بالنفاد من

---

(١) Jonathan Lear, Aristotle: The Desire to Understand (New York: Cambridge University Press, 1988), 1.

خلالها فتمنح الإبصار للكائنات الحية.

كما أن شفافية بخار الماء تلعب دوراً هاماً آخر، يشرحه كارل ساغان في كتابه (الكون) حيث يقول: **"لو تخيلنا أن الحياة قد وُجدت في كوكب مثل كوكب الزهرة مثلاً، فلن نتمكن عندئذ من القيام بأي اختراع في مجال العلم، ولن يكون هناك تقدم علمي، لماذا؟ لأن كل العلوم على الأرض كان مبدؤها من مراقبة حركة الكواكب والنجوم واكتشاف قوانين الحركة والجاذبية، ولن يكون ذلك ممكناً على كوكب الزهرة لأن غلافه الجوي لا يحتوي على بخار الماء إطلاقاً، وهو فوق ذلك محاط بغيوم تمنع الرؤيا تماماً، ولن يتمكن سكان الزهرة (لو وُجدوا) من رؤية السماء بكواكبها ونجومها، بل لن يتمكنوا من مشاهدة الشمس، إلا على شكل أشعة مبعثرة، تشبه ما يشاهده الغطّاسون من أشعتها المبعثرة حين يغوصون في المحيطات إلى أعماق سحيقة".**[1]

صحيح أن شفافية الغلاف الجوي للكرة الأرضية لا تعتمد على شفافية بخار الماء فقط، بل على مكوناته جميعها، ولكن شفافية الماء والبخار تلعب دوراً أساسياً لا غنى عنه في وجود تلك الشفافية.

الماء والأوكسجين

هناك عامل آخر غاية في الأهمية يجعل من الماء سائلا ملائما للقيام بعملية التركيب الضوئي، وبالتالي لإطلاق غاز الأوكسيجين، الذي تعتمد عليه جميع الكائنات التي تعيش على تنفس الهواء، ومنها نحن البشر،

---

[1] Carl Sagan, Cosmos (New York: Ballantine Books, 2013), 102.

فالتنفس كما نعلم هو الوسيلة التي تحصل بواسطتها الكائنات على الطاقة، ويكون ذلك عن طريق الأكسدة التي تتم في الجهاز التنفسي، وقد رأينا في الفصل الثالث أن الماء لا يتفاعل إطلاقاً مع الأوكسيجين ويكون مستقراً تماماً من الناحية الكيميائية عند وجودهما معاً في الطبيعة، وهذه حقيقة جديرة بالوقوف عندها والتأكيد عليها، لأن كثيراً من العناصر العضوية الأخرى تتفاعل مع الأوكسيجين بشدة عند وجودها معه، بعبارة أخرى، لو كان الماء أو بخاره قابلاً للتفاعل مع الأوكسيجين لما أمكن أن يكون على الأرض أي كائن حي يعتمد في حياته على تنفس الهواء الموجود في غلاف الأرض الجوي.

مكتبة
t.me/t_pdf

تسلسل يؤدي إلى غاية محددة

من الأعاجيب الأخرى المتعلقة بالماء، هي أن هذا السائل الحيوي، والذي هو في غاية الملاءمة ليُمَكِّن خلايا أوراق الأشجار من القيام بعملية التركيب الضوئي، هو السائل نفسه الذي يمتلك من الخصائص الفيزيائية المدهشة ما يُمَكِّن الماء من الانتقال من التربة إلى الأوراق عبر الجذور والسيقان، تلك الخصائص هي الخاصية الشعرية، والتوتر السطحي، واللزوجة المناسبة.

والآن دعونا نتأمل ما يحدث في الأشجار: لدينا مجموعة من خصائص الماء المدهشة، وهي التوتر السطحي والخاصية الشعرية واللزوجة، تقوم مجتمعة بوظيفة هامة جداً، وهي نقل الماء مع حمولته من الغذاء اللازم للأشجار من التربة إلى الأوراق، حتى إذا ما وصل الماء إلى الأوراق، تقوم مجموعة أخرى من خصائص الماء المدهشة، بالعمل معاً بشكل متناغم متناسق لتمكين

عملية التركيب الضوئي، وهذه المجموعة الأخرى هي كما رأينا: شفافية الماء لأشعة الضوء، وامتصاصه للأشعة المؤذية، وتبريد سطوح الأوراق الناتج عن تبخّره بفعل حرارة الشمس، وقدرته على الإذابة.

ولو قمنا بمزيد من التأمل فيما يحدث في الأشجار من أعاجيب، لوجدنا أن نمو النبات، وآلية التركيب الضوئي، وإنتاج الأوكسيجين، هي كلها نتيجة سلسلة من العمليات المتعاقبة المرتبة بترتيب معين، كل عملية منها تعتمد على التي قبلها، وتمهد للتي بعدها، وكل مرحلة من تلك السلسلة تعتمد على مجموعة من الخصائص الفريدة للماء.

فنحن إذن لسنا أمام مجرد عملية رفع الماء من التربة إلى الأوراق، بل أمام خطة محكمة على شكل سلسلة متعاقبة لها هدف معين وغاية محددة، وهي سلسلة ما كان لها أن تصل إلى غايتها لولا تلك المزايا والخواص المدهشة التي يتمتع بها الماء، والتي تعمل مجموعة منها في كل مرحلة لتصل إلى المرحلة التالية، ولولا هذه الخصائص التي يتمتع بها الماء، لما كان هناك نبات على الأرض، وبالتالي لكان وجود أي شكل من أشكال الحياة على سطح الأرض أمراً مستحيلاً.

الأرض والنار والماء

مررنا في هذا الفصل على عدد من الخصائص الإضافية والمدهشة للماء، والتي تساعد على قيام الحياة على الأرض، مثل رفع الماء من التربة إلى الأوراق، وعملية التركيب الضوئي، وملائمة الماء من حيث الشفافية لوصول الضوء - والضوء فقط - من أشعة الشمس إلى الأرض.

لا بد من الإشارة إلى أن بعض خصائص الماء اللازمة للحياة، لا تشمل كل أنواع الحياة، فهناك بعض الكائنات المجهرية، وهي أنواع من البكتيريا غالباً، تعيش في ظروف قاسية جداً، وتحصل على الطاقة عن طريق نحتها للصخور، فهي لا تحتاج للأوكسيجين، لأن الأماكن التي تعيش فيها، وهي غالباً جيوب صخرية، لا تصلها الشمس، ولكن كل الكائنات التي تعتمد على التنفس، مثلنا نحن البشر، تعتمد حياتها اعتماداً تاماً على الدور الذي تلعبه خصائص الماء الفريدة في عملية التركيب الضوئي التي تقوم بها كل النباتات الخضراء على سطح الأرض، وهذه العملية تعتمد بدورها على خصائص الماء التي تمكنه من التغلغل في التربة ثم الصعود عبر سيقان الأشجار وأغصانها نحو الأوراق.

إن الخصائص المدهشة للماء والتي تجعله ملائما تماماً لحياة النباتات على الأرض، هي أمر أساسي لحياتنا نحن البشر أيضاً، لأننا نعتمد بشكل تام على الكربوهيدرات التي تنتجها النباتات في عملية الأيض اللازمة لحياتنا، ولولا وجود النباتات على الأرض لما أمكن إطلاقاً أن تكون الأرض صالحة لحياة الكائنات البرية بما فيها الرئيسات كالبشر، لأن النباتات البرية هي أصل كل أصناف الغذاء الممكن للأحياء، ولكانت الحياة على الكرة الأرضية مقتصرة على بعض الأحياء المائية وبعض الميكروبات.

بالإضافة إلى ما سبق، فإن المنشأ الأول للنار على سطح الأرض هي الأخشاب التي تحوي الكربون، والأوكسجين، فلولا الأخشاب لما كنت النار، ورأينا أنه لولا خصائص الماء المدهشة لما كانت الأشجار التي ينتُج عنها الأخشاب، وهكذا نرى أن الماء لو لم يكن يتمتع بتلك الخصائص المدهشة التي تجعله في غاية الملاءمة لنشوء الحياة، ابتداء من بناء القشرة

الأرضية، وانتهاء بالغابات التي تعطي الأخشاب، لما أمكن للبشرية أن تخترع النار، ولما كان هناك تعدين أو تقنيات حديثة، ولبقيت البشرية محبوسة في العصر الحجري بلا أي تطور أو تقدم.

وكما رأينا في الفصول السابقة، أن الماء بقدراته الذاتية، ينقل نفسه بنفسه إلى الأرض، ويحتُّ الصخور، ويزوّد البيئة الأرضية بالفِلِزَّات والمعادن، ويستقر في التربة ليتنقل خلالها ويلبي حاجات جذور النباتات من الماء والغذاء، ورأينا في هذا الفصل كيف يقوم الماء بقدراته الذاتية بالصعود حاملاً المواد التي يحتاجها النبات من الجذور إلى الأوراق، لتقوم الأوراق بعملية من أهم العمليات اللازمة لاستمرار الحياة على الأرض، ألا وهي إنتاج الأوكسيجين.

وفي جميع الأمثلة السابقة، لاحظنا بوضوح أن كل عامل من عوامل ملاءمة الماء للبيئة الأرضية ولقيام الحياة على الأرض واستمرارها، يتم استغلاله من جهة عامل آخر من مجموعة العوامل، بل قد لاحظنا بما لا يدع مجالاً للشك أن كثيراً من العمليات التي تقوم بها بعض المجموعات من تلك العوامل، ناتجة عن مجموعة أخرى عملت قبلها، وتؤدي إلى مجموعة أخرى تعمل بعدها، وكل تلك المجموعات والعوامل تعمل بتناغم مدهش عجيب، وبتسلسل منطقي يعمل من أجل غاية محددة، هي المحافظة على بيئة الأرض وضمان كونها صالحة لقيام الحياة واستمرارها.

وقد مر معنا في الفصل الثاني من هذا الكتاب، أن كلاً من كامبل وتايلر) قد عنونا دراسة لهما عن أهمية الماء: "**بدون الماء، لم تكن لتوجد صخور الغرانيت، ولا المحيطات ولا القارات**"، وفي ضوء المواضيع والحقائق التي استعرضناها في هذا الفصل والفصول السابقة، نستطيع أن نوسع هذه

العبارة لتكون على الشكل التالي:

"بدون الماء، لم تكن لتوجد صخور الغرانيت، ولا المحيطات، ولا القارات، ولا الأشجار، ولا الأخشاب، ولا الأوكسيجين ولا النار، ولا إمكانية الإبصار، ولا التقنيات والعلوم الحديثة".

لقد دأب القدماء، ولقرون عديدة، على ذكر الماء والنار على أنهما ضدان لا يجتمعان، وكذلك الأمر عندما يذكرون الماء واليابسة، ولو أنهم اطّلعوا على الاكتشافات المذهلة المتعلقة بالماء، والتي توصل إليها علماء عصرنا، لعلموا أن الأرض والنار يعتمدان في وجودهما على الخواص الفريدة للماء، وأنه لولا تلك الخصائص والمزايا المدهشة، لما كان هناك أرض، ولما كان هناك نار.

الفصل السادس

الماء وفيزيولوجيا الإنسان

في مشهد درامي من فيلم وثائقي بثته هيئة الإذاعة البريطانية،[١] يقف صياد أفريقي وقفة المنتصر أمام ظبي كبير منهك، خائر القوى وعاجز عن الجري، ليصوب إليه ضربة قاتلة من رمحه، ويحظى بصيد ثمين وفير، منهياً بذلك ما يزيد عن ست ساعات من المطاردة، أمضاها وهو يجري مع مجموعة من قبيلته في مطاردة ذاك الظبي السمين، عبر إحدى غابات أفريقيا، قاطعين في تلك المطاردة مسافة طويلة خلال أكثر ساعات النهار حراً.

والملفت للنظر أن الصياد ورفاقه لم يكونوا منهكين، ولم تكن قواهم خائرة، وكانوا مستعدين لمطاردة فريسة ثانية لعدة ساعات أخرى، بعكس الظبي الذي انهار تماما في نهاية هذه المطاردة الطويلة.

ينتشر هذا النوع من الصيد، والذي يعتمد على قدرة تحمل الصيادين للجري مسافات طويلة، في مناطق عديدة من العالم، مثل أستراليا والمكسيك وأمريكا الجنوبية وغيرها.

ولكن ما هو سبب التفاوت الشديد في تحمل الإنسان والظبي الجري لمسافات طويلة؟

الإجابة عن هذا السؤال تحتاج إلى شيء من التفصيل يسبقه استعراض لبعض المعلومات، ونبدأ ذلك بالقول بأن سرعة الجري عند الإنسان تتراوح

---

(١) David Attenborough, "Human Mammal, Human Hunter," The Life of Mammals (BBC, February 5, 2003).

ما بين ٢.٣ و ٦.٥ متر في الثانية، ومتوسط السرعة التي يستطيع الإنسان تحملها لمسافة طويلة ولمدة زمنية طويلة هي ٤ أمتار في الثانية، وهي سرعة تعتبر عالية مقارنة بالغالبية العظمى من الحيوانات رباعية الأرجل.

فلو نظرنا إلى كلب وزنه يساوي وزن إنسان (٦٥ كيلوغرام)، لوجدنا أنه يستطيع أن يجري بسرعة ٧.٨ متر في الثانية، ولكنه لا يستطيع أن يحافظ على هذه السرعة لمدة تزيد عن ربع ساعة في أفضل الظروف الجوية المناسبة، وهذا يدل على أن الكلاب تسبق الإنسان عند الجري لمسافات قصيرة، ولكن الإنسان يسبق الكلاب عند الجري لمسافات طويلة.

لقد اعتمد الصيادون في المناطق الحارة على هذه الحقيقة المدهشة، وهي أن الإنسان يتفوق على معظم الحيوانات رباعيات الأرجل في تحمل الجري لمسافات طويلة ولمدد زمنية طويلة، اعتمدوا عليها من أجل تحسين طرق الصيد التي تعتمد على شدة التحمل عند الجري.

التبريد بالتبخر

كلا الكائنين: الإنسان والظبي من ذوات الدم الحار، والتي تتصف بمعدل عال من الأيض[1] في أجسامها، وكلاهما يقوم بإنتاج كمية كبيرة من الحرارة الداخلية عندما يقوم بالجري أو أي عمل عضلي مجهد، وكلاهما تنتقل حرارة الوسط المحيط إلى جسمه عندما تزيد عن ٣٧ درجة مئوية، ولكن الفرق بينهما أن الظبي يعجز عن التخلص من الحرارة التي تتولد داخل جسده عند

---

(١) الأيض هو مصطلح يعبر به عن التفاعلات الكيميائية التي تحدث في جسم الإنسان لتحافظ على حياته، منها مثلا التفاعلات التي تحول الغذاء إلى طاقة لتشغيل العمليات الخلوية، أو لتركيب البروتينات، وغير ذلك. [المترجم]

الجري، ما يؤدي إلى فقدانه قدرة التحمل بسرعة نتيجة إصابته بالإنهاك الحراري، في حين أن الإنسان يصمد فترة طويلة قبل أن يصاب بالإنهاك الحراري نتيجة الجري، لأن حرارة جسمه تبقى ثابتة رغم ما يولده جسمه من حرارة نتيجة المجهود العضلي، وهذا التحمل والصمود يعود لأسباب عديدة، منها أن الطاقة التي يستهلكها الجري على قدمين أقل بمراحل من الطاقة التي يستهلكها الجري على أربع، ومنها أن الإنسان يستطيع أن يحمل معه زاده من الماء ليشرب كلما احتاج لذلك، ولكن أهم الأسباب التي تساعد الإنسان على التفوق على الظبي في التحمل وأكثرها حسماً هو أن جلد الإنسان لا يغطيه شعر أو وبر أو فراء، وأن غدد العرق تنتشر بغزارة تحت جلد الإنسان، فيؤدي ذلك إلى الاستفادة القصوى من العرق الذي يفرزه الجسم في تبريد جلد الإنسان، وهذا يؤدي إلى زيادة كبيرة في الحرارة التي يستطيع جسم الإنسان أن يطرحها أثناء الجري مقارنة بمثيلتها عند الظبي الذي يغطي جلده طبقة من الفرو تقلل كثيراً من طرحه للحرارة.

وعلى الرغم من أن كلاب الصيد والظبيان تسبق الإنسان في سباق جري سريع لمدة ربع ساعة، لكن لو دخلت مع الإنسان في سباق طويل يعتمد على التحمل لمدة عشرة كيلومترات، فلن تستطيع مجاراة الإنسان، وسيسبقها بفروق شاسعة، والفضل بذلك يعود في الدرجة الأولى إلى استفادة الإنسان من التبريد الناتج عن تبخر العرق، وهو أمر مدهش ورائع لو تأملنا في تفاصيله وفي دور خصائص الماء الفريدة فيه.

تأملوا معنا هذا الأمر المدهش، لو كان لدينا غرام واحد من الماء في درجة حرارة غرفة طبيعية، فإن ما يلزمنا لتبخيره هو ٥٨٤ حُريرة[١]، في حين

---

(١) كلمة (حُرَيرة) أو (سعر حراري) أو كالوري (Calorie)، هي وحدة قياس الحرارة وتقاس بمقدار الحرارة اللازم لرفع درجة جرام من الماء درجة مئوية في ١ ضغط جوي. [المترجم]

يلزمنا لتحويل غرام واحد من الماء من حالة التجمد، إلى درجة الغليان، ١٠٠ حريرة فقط، أي إن كمية الحرارة التي تلزمنا لتبخير الماء السائل تزيد بأكثر من خمسة أضعاف على كمية الحرارة اللازمة لتحويل الجليد إلى ماء مغلي، وهذا يعني أن الماء عندما يتبخر يؤدي إلى تبريد الوسط الذي يتبخر منه بدرجة فعالة جداً، أليس هذا مدهشاً حقاً؟ لاسيما إذا علمنا أنه لا يوجد أي مركَّب كيميائي آخر يجاري الماء في القدرة على التبريد أثناء التبخر، وهو يتفوق بدرجة كبيرة على كل ما عداه من السوائل، وللدقة العلمية، يستثنى من ذلك بعض المعادن المنصهرة التي تحتاج لكمية أكبر من الحرارة حتى تتبخر، ولكن ذلك يكون في درجات حرارة عالية جداً، فهي خارج المنافسة في مجالات حرارة الجو الطبيعية على الكرة الأرضية.

تكون فاعلية تبريد جسم الإنسان بالتبخر عالية جداً عندما تزيد حرارة الجو عن حرارة الجسم، ولا ينطبق ذلك على الإنسان فقط، بل على الثدييات والطيور أيضاً، غير أن الثدييات التي يغطي جسمها الفرو، لا تستفيد من التبريد بالتبخر، بل عليها أن تطرح الحرارة الزائدة بواسطة اللهاث، ويتم ذلك باستغلال جهاز التنفس الغني بالأوعية الدموية.

بالإضافة إلى التبخر، فإن الآليات الأخرى المتوفرة لطرح الحرارة من جسم الإنسان هي النقل الحراري والإشعاع، إذ نعلم أنه عندما يكون وسطان على تماس، فإن الحرارة تنتقل من الأسخن إلى الأبرد، غير أن هذه الآليات تكون فعالة بالنسبة للإنسان عندما تكون حرارة الوسط المحيط أقل من حرارة الجسم، ولا تكون مفيدة أو فعالة عندما تكون حرارة الجو تساوي حرارة الجسم أو تزيد عليها، لأنها في تلك الحالة تعمل بشكل معكوس، أي تنقل حرارة الجو إلى جسم الإنسان.

هناك إذن ثلاث طرق لطرح الحرارة الزائدة من جسم الكائن الحي: تبخر العرق، والإشعاع، والنقل الناتج عن اختلاف الحرارة بين الجسم والوسط المحيط، وقد لاحظ العلماء منذ أكثر من قرن، أن التبخر بالتعرق هو أكثر وسائل طرح الحرارة فاعلية، وخاصة بالنسبة للإنسان، لأنه يعتبر من الكائنات التي تتميز بمعدل عال جداً للأيض مقارنة بغيرها، ومعلوم أن الأيض ينتج الحرارة، وأن هذه الحرارة لا بد من طرحها ليحافظ الجسم على حرارته الطبيعية.

ولكن هناك أمر هام جداً جدير بالملاحظة، وهو أن التبريد بالتبخر يقتصر دوره في طرح الحرارة من أجسام الكائنات الحية على الكائنات البرية فقط، وليس له أي دور مماثل في الحيوانات المائية التي تغص بها البحار والمحيطات، بما في ذلك الثدييات البحرية، كالحيتان مثلاً، بل إن الحيوانات ذات الدم البارد، كالزواحف والبرمائيات، والتي تتميز بمعدل منخفض جدا من الأيض مقارنة بالثدييات، (أي إن كمية الحرارة التي تنتجها أجسامها ضئيلة)، تكون فائدتها من التبريد بالتبخر ضئيلة جداً إن لم تكن معدومة، فما الذي يمكن أن نستنتجه من ذلك؟

نستنتج أن تلك الخاصية والميزة الفريدة التي يتمتع بها الماء، وهي التبريد بالتبخر، تجعله مختصاً بتبريد الكائنات ذوات الدم الحار، في المناطق التي تزيد حرارتها عن ٣٠ درجة مئوية، كما رأينا في حالة الصيادين الذين يطاردون الظبي، ولكن لأن الإنسان لا يغطي جسمه أي نوع من الفرو أو الشعر، ولأنه يمتلك كمية غزيرة من الغدد العرقية تحت جلده، فإن استفادته من هذه الميزة الفريدة أكبر بكثير من استفادة غيره من الكائنات، وكأنها موجودة بشكل خاص لفائدة الإنسان أوّلاً، وهي ميزة حيوية لا غنى له عنها.

لماذا؟ لأن ارتفاع درجة حرارة الإنسان فوق ٣٧ درجة مئوية أمر خطير جداً، فإذا ما زادت عن ٤٠ درجة أصبح معرضاً لضربة شمس، قد تكون ذات تأثير مميت عليه.

ولتوضيح ذلك دعونا نتخيل أن مرضاً يحرم الإنسان من ميزة التبريد بالتبخر، مثلاً، مرض تتوقف بسببه الغدد العرقية عن إفراز العرق، فما الذي يحدث؟ سينتشر مرض الإنهاك الحراري، ويمكن أن يكون أداء تمرين رياضي عنيف كافياً لقتل صاحبه.

حسناً، لنتخيل من جديد أن الغدد العرقية تعمل، ولكن أمراً سحرياً حصل للماء بحيث منع أو خفض بشدة ميزته المدهشة في التبريد بالتبخر، والتي كما سبق أن ذكرنا لا يجاريه فيها أي سائل آخر، فما الذي سيحدث؟ نعم... سيموت الملايين من سكان المناطق الحارة خلال ساعات معدودات.

باختصار، يعتمد سكان المناطق الحارة على ما يقوم به الماء من تبريد لأجسامهم، بسبب قدرته الفائقة الفريدة على التبريد بالتبخر.

دور السعة الحرارية للماء

لا يقتصر دور الماء في المحافظة على حرارة جسم الإنسان في قدرته الفائقة المتميزة على التبريد بالتبخر، والتي تحدثنا عنها في السطور السابقة، فهناك دور آخر يقوم به الماء ويعتمد أيضاً على خاصية فريدة للماء، وهي السعة الحرارية، والتي تكلمنا عن تعريفها في الفصل الرابع، والتي قلنا إن قيمتها في الماء أعلى بكثير من قيمتها في معظم السوائل المعروفة، وهذا يعني

أن كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء هي أعلى بكثير من الكمية اللازمة لرفع درجة حرارة السوائل الأخرى، وقد أطلق العالم توم (غاريسون) Tom Garrision على هذه الظاهرة مصطلح (العطالة الحرارية) Thermal inertia ولتوضيح الدور الذي تلعبه هذه الظاهرة في المحافظة على حرارة جسم الإنسان، يضرب العلماء هذا المثال: ينتج إنسان وزنه ٧٥ كيلوغرام مقداراً من الحرارة يبلغ ٢٤٠٠ حريرة في اليوم، وذلك في حالة النشاط العادي، وهذه الكمية تكفي لرفع حرارته بمقدار ٢٣ درجة مئوية، ولكن لو فرضنا أننا استبدلنا أي سائل آخر بالماء الموجود في جسم الإنسان، فإن هذه الكمية نفسها من الحرارة سترفع حرارة جسم الإنسان ما بين ١٠٠ إلى ١٥٠ درجة مئوية، وعندها سيكون طرح الحرارة الزائدة من جسم الإنسان أمراً في غاية الصعوبة، وستكون المحافظة على درجة حرارة الإنسان في قيمتها الطبيعية التي تمكنه من الحياة، وخاصة أثناء القيام بأي نشاط أو إجهاد، أمراً شبه مستحيل، ولا يخفى على القارئ أن المحافظة على ثبات حرارة جسم الإنسان هي مسألة حيوية هامة، بل هي مسألة حياة أو موت، إذ لا يمكن تصور أن يحيا الإنسان دون المحافظة على درجة حرارة جسمه المعروفة.

إنّ الأيض الذي يجري في جسم الإنسان منضبط بشكل محكم وبحيث تكون فاعليته في حدها الأقصى دائماً، لذلك فهو يتأثر بشدة عند زيادة درجات الحرارة، فعند زيادة درجة حرارة الجو بمقدار عشر درجات، يتزايد معدل التفاعلات الكيميائية في جسم الإنسان بمقدار الضعف.

وهكذا فإن الحرارة التي يكتسبها الصيادون في المناطق الحارة، سواء الداخلية الناتجة عن ارتفاع معدل الأيض، أو الخارجية الناتجة عن امتصاص الحرارة من الجو، لا تتمكن من رفع درجة حرارة الإنسان عن الحد الطبيعي،

لأن قدرة الماء العالية على التبريد بالتبخر من جهة، والسعة الحرارية العالية التي يتمتع بها الماء المختزن في جسم الإنسان من جهة أخرى، يعملان معاً على تبديد الحرارة المكتسبة والمحافظة على درجة حرارة الإنسان، وبالتالي على حياته.

ومن العجائب المدهشة، أن قيمة السعة الحرارية للماء مضبوطة بحيث تناسب احتياجات الإنسان، وكذلك احتياجات غيره من الكائنات، فمثلاً، في عالم الحشرات، كالنحل واليعسوب، هذه الحشرات تحتاج إلى عملية تسخين أو إحماء لعضلات صدرها قبل أن تقوم بالطيران، ومن أجل ذلك ترتجف عضلات صدرها بشدة قبل الطيران لتكتسب تلك الحرارة، ولو أن السعة الحرارية للماء أعلى مما هي عليه، لاحتاجت هذه الحشرات إلى أن تقوم بعملية الارتجاف هذه لمدة أطول، ما يحد من قدرتها على الطيران.

ومن تلك العجائب المدهشة أيضا، أن السعة الحرارية للماء تكون في حدها الأدنى عند درجة الحرارة ٣٦ مئوية، وهي درجة قريبة جداً من درجة حرارة الكائنات ذات الدم الحار، ومنها الإنسان، ولو لم تكن كذلك لكانت مؤذية جداً لتلك الكائنات.

خلاصة القول: إن قيمة السعة الحرارية للماء، ومقدار التبريد الناتج عن تبخره، مضبوطة بقيم دقيقة جداً لتكون مناسبة، بل مثالية لاحتياجات الإنسان، ولو كانت هذه القيم مختلفة لأدت إلى معاناة شديدة للإنسان في حياته اليومية.

ناقلية الحرارة

رأينا أن السعة الحرارية تقوم بحماية جسم الإنسان من التغير السريع للحرارة، أما تخلّص الجسم من الحرارة الزائدة فيكون عبر وسيلتين: التبريد بالتبخر، وانتقال الحرارة عبر جلد الإنسان إلى الوسط الخارجي، والذي يتطلب أن يكون هناك نقل للحرارة بين أعضاء جسم الإنسان الداخلية المختلفة وبين الجلد، والناقل الذي يقوم بهذه المهمة هو الماء.

ونقل العناصر والأجسام للحرارة هي ظاهرة طبيعية تسمى الناقلية الحرارية، والمقصود بها انتقال الحرارة بين جزيئات الأجسام، فمثلاً لو أخذنا قضيباً من الحديد ووضعنا طرفه على النار، وانتظرنا برهة، فيسخن طرفه الذي يمس النار، ثم لن نلبث أن نشعر بالحرارة تصل إلى يدنا التي تمسك بالقضيب شيئاً فشيئا، وذلك لأن جزيئات القضيب التي سخنت بسبب النار، تنقل الحرارة إلى الجزيئات المجاورة التي لم تسخن، وهكذا حتى تصل الحرارة للطرف الآخر من القضيب، وتتفاوت الناقلية الحرارية بين مختلف الأجسام والمواد تفاوتاً شديداً، فمثلاً، تبلغ ناقلية الفضة للحرارة أربعين ألف ضعف ناقلية الهواء، وبعض المواد، مثل الهواء الجاف والخشب، لديها ناقلية ضعيفة جداً بحيث تصنف على أنها عوازل حرارية.

ولكن، عند الحديث عن ناقلية السوائل، يفاجئنا الماء من جديد، فهو أكثر السوائل المعروفة ناقلية للحرارة، ذلك أنه باستثناء المعادن المنصهرة، لا يوجد سائل آخر في الطبيعة يجاري الماء في قدرته على نقل الحرارة.

فإذا علمنا أن الماء يشكل أكثر من نصف جزيئات جسم الإنسان، أدركنا الأهمية الكبرى للناقلية العالية التي يتمتع بها الماء، والتي تلعب دوراً في غاية الأهمية في نقل الحرارة الناتجة عن عملية الأيض من الأنسجة إلى الأوعية

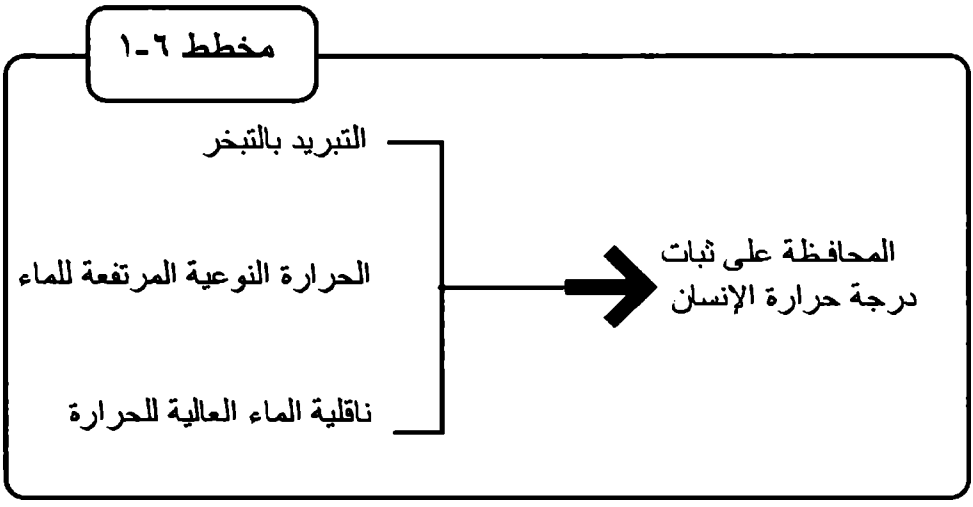
الدموية الشعرية، ويتم هذا النقل بسرعة عالية، ما يمنع تراكم الحرارة في الأنسجة والذي قد يصل إلى حد مميت، ولو لم يكن الماء متمتعاً بناقلية عالية جداً للحرارة، لأدى ذلك إلى وصول الأنسجة في جسم الإنسان إلى درجة الغليان عند القيام بنشاط عضلي مجهد، ولما كان هناك بشر على سطح الأرض، والأمر ينطبق على جميع الكائنات الحية ذوات الدم الحار، البرية منها والبحرية.

بل إن فائدة هذه الناقلية تتعدى ذوات الدم الحار إلى ذوات الدم البارد من الكائنات، لأن أجسامها أيضا تجري فيها عملية الأيض، وإن كان بوتيرة أقل بكثير من تلك التي تجري في ذوات الدم الحار، ولكن الحرارة التي تنتج عنها لا بد من تصريفها عن طريق الناقلية الحرارية للماء، وإلا فإنها ستسبب رفع حرارة تلك الكائنات إلى معدلات لا تستطيع تحملها.

وناقلية الماء مضبوطة بدقة، فلو أنها كانت أكبر من قيمتها الحالية، لو كانت مثلاً مساوية لناقلية النحاس أو الفضة، لأدى ذلك إلى تغيرات سريعة جداً في حرارة الجسم عند تغير درجة حرارة الجو المحيط، وهذا أمر ضار جداً وخاصة في الطقس البارد، حيث يستحيل على الإنسان المحافظة على درجة حرارة جسمه عند ٣٧ درجة مئوية في هذه الحالة، لأن الناقلية العالية ستؤدي آنذاك إلى فقدان سريع للحرارة من جسمه، عند انخفاض درجة حرارة الجو من حوله.

ومن عجائب ضبط الناقلية الحرارية للماء، أنها تتغير مع تغير درجات الحرارة بشكل يجعل الخلايا الحية في جسم الإنسان قادرة على المحافظة على استقرار درجة حرارتها، وسبب ذلك أن ناقلية الماء للحرارة تزداد مع ازدياد درجات الحرارة وتقل مع انخفاضها، أي بتعبير آخر، عندما تكون الحرارة

مرتفعة ويزداد معدل الأيض وبالتالي تزداد الحرارة التي تنتجها الخلية الحية، تكون ناقلية الماء للحراة مرتفعة، ما يساعد على التخلص من كميات الحرارة الزائدة، وعلى العكس من ذلك، عندما يكون الحرارة منخفضة ويقل معدل الأيض، تنخفض ناقلية الماء للحرارة، وبذلك تبقى حرارة الخلية مستقرة باستمرار سواء ارتفعت حرارة الوسط المحيط أو انخفضت، والماء هو السائل الوحيد المعروف الذي يتميز بهذه الميزة المدهشة ضمن مجال درجات الحرارة الطبيعية على كوكبنا الأرضي، والتي يتراوح معدلها ما بين صفر و ١٠٠ درجة مئوية، وهو المجال الذي يمكن ضمنه معالجة المركبات العضوية بسهولة عن طريق الأنظمة البيوكيميائية (انظر الفصل التالي لمزيد من التفاصيل حول هذه النقطة)، أما السوائل الأخرى، فإن هذه الميزة لا تتوفر فيها إلا في درجات حرارة بعيدة جداً عن هذا المعدل.



خلاصة القول، إن الخصائص الحرارية للماء هي مجموعة أخرى من الميزات المدهشة التي تعمل معاً لتحقيق هدف معين، وهو المحافظة على حرارة جسم الكائنات ذات الدم الحار، ومن بينها الإنسان، ولا بد من

التنويه هنا إلى أن أكثر هذه الميزات أهمية وروعة، هي القدرة الكبيرة لعملية تبخر الماء على امتصاص حرارة الجسم وتبديدها، وهي ميزة في غاية الأهمية لنا كبشر، لأننا نتمتع بمعدل عال من الأيض الذي يُنتج كميات كبيرة من الحرارة، وخاصة عند بذل مجهود عضلي.

عزيزي القارئ، إذا فكرت يوما بإنشاء مدينة فاضلة مثالية على غرار مدينة أرسطو الخيالية الفاضلة، وأن تكون مدينتك صالحة لحياة البشر وغيره من ذوات الدم الحار، فعليك أولاً أن تخترع سائل الماء، وأن تزوده بتلك الخصائص والمزايا المدروسة بدقة متناهية، وإلا فلن تكون هناك حياة في مدينتك.

وهكذا نرى أن الخصائص الحرارية للماء، هي مثال رائع آخر، يظهر لنا بوضوح، أن هذه الخصائص التي تحافظ على حرارة جسم الإنسان ليتمكن من العيش والبقاء، هي نفسها التي تحافظ على مناخ الأرض في وضعه الحالي، والذي يجعل معظم بقاع الكرة الأرضية صالحة للحياة، وهذا يجعلنا لا نشك في أن هذه الخصائص المدهشة لم توجد في الماء عبثاً، بل وراء وجودها غاية مرسومة بفعل مصمم حكيم.

دور صفات الماء في الدورة الدموية

تحدثنا آنفاً عن دور ناقلية المياه للحرارة في المحافظة على حرارة جسم الإنسان، وكذلك عن الدور المدهش لعملية التبخر في تبريد جسم الإنسان في درجات الحرارة المرتفعة، ورغم الدور الهام الذي تلعبه كلا الميزتين في هذا المجال، فهما غير كافيتين، وسبب ذلك أن فاعليتهما تقتصر على مسافات صغيرة جداً، وهذا يعني أن نقل الحرارة الزائدة من الأنسجة والأعضاء

الداخلية في جسم الإنسان لطرحها عن طريق الجلد، لا بد أن تتم بوسيلة أخرى، وهذه الوسيلة هي الدورة الدموية.

إن نقل الحرارة هو أحد الوظائف التي تقوم بها الدورة الدموية في الكائنات المعقدة مثل الإنسان وغيره من الثدييات، بالإضافة إلى الأدوار الحيوية الأساسية الأخرى المعروفة، والدورة الدموية هي بلا شك وسيلة نقل سريعة جداً للسوائل، ولما تحمله من حرارة، مقارنة بوسيلة الترشيح، ذلك أن نقل السوائل بالترشيح ضمن الخلايا والأنسجة بطيء جداً، ولا يكفي لبقاء الكائن على قيد الحياة، والماء ليس استثناء، فعملية انتقال الماء بالترشيح تكون سريعة في المسافات القصيرة، ولكنها بطيئة جداً في المسافات الطويلة، ووصفنا لها بالطويلة هنا هو أمر نسبي، ونعني به تلك المسافات التي تزيد عن سنتيمتر واحد.

ومن أمثلة ذلك، دراسة حول انتقال الأوكسيجين بالترشيح، قام بها العالم الفيزيولوجي شميدت نيلسين فوجد أن معدل انتشار الأوكسيجين عبر خلايا الأنسجة الحية بواسطة الترشيح، يتباطأ بشدة مع بُعد المسافة، فهو يحتاج إلى جزء من عشرة آلاف جزء من الثانية ليقطع مسافة ميكرون واحد، ويحتاج إلى جزء واحد من الثانية ليقطع مسافة ١٠ ميكرون (قطر خلية واحدة)، ويحتاج ثانية واحدة ليقطع مسافة مائة ميكرون (أي عشرة من الخلايا)، ويحتاج مائة ثانية ليقطع مسافة ملليمتر واحد، ويحتاج إلى ثلاث ساعات ليقطع مسافة قدرها عشرة ملليمترات، أما لقطع مسافة متر كامل فيحتاج إلى ثلاث سنوات.[١]

---

(١) Knut Schmidt-Nielsen, Animal Physiology: Adaptation and Environment, 1997, 5th Edition, Kindle Edition, 585.

إن عملية انتقال الجزيئات بالترشيح في المسافات المجهرية القصيرة توضح سبب قدرة الكائنات الدقيقة وحيدة الخلية والبكتيريا والطفيليات وحتى الكائنات الدقيقة متعددة الخلايا على الحصول على العناصر الغذائية والتخلص من فضلاتها ببساطة عن طريق الترشيح دون الحاجة لدورة دموية، كما أن عملية الترشيح تكفي الكائنات الدقيقة المذكورة لنقل السوائل والحرارة اللازمة لعمليات الأيض، ولكن عندما يتطلب حجم الكائن الحي أن يتم نقل السوائل والحرارة لمسافة تزيد عن بضع ميكرونات، يصبح النقل بالترشيح غير كاف للقيام بذلك، ولا بد عندها من وجود دورة دموية أو نظام مشابه للقيام بهذا الدور الحيوي.

في العديد من الكائنات البسيطة الصغيرة المتعددة الخلايا، لا يوجد دورة دموية كما نعرفها، بل يوجد نظام ضخ، يسمى النظام المفتوح، يقوم بضخ سوائل الجسم بين الخلايا والتجاويف المختلفة التي تشكل تلك الكائنات.

فإذا انتقلنا إلى الحشرات، نجد أن لديها أيضاً نظام ضخ مفتوح، يقوم بما يقوم به نظام الدورة الدموية عند الإنسان، يقوم بتوفير الأوكسجين، ولكن ليس عن طريق دورة دموية، ولكن عن طريق سلسلة من الأنابيب الدقيقة التي تتخلل أنسجة الجسم لتصل إلى جميع خلاياه، وتأتي بالأوكسجين مباشرة إلى حيث تحتاجه الخلايا والأنسجة للقيام بعملية الأيض.

أما في الكائنات متعددة الخلايا الكبيرة والمعقدة، سواء اللافقاريات، كالأخطبوط مثلاً، أو الفقاريات بما فيها الثدييات والطيور، فإن نظام الدورة الدموية هو نظام مغلق، يتألف من شبكة أوعية دموية، تنطلق من جهاز ضخ مركزي هو القلب، ثم تأخذ في التشعب كلما ابتعدت عنه، وكلما تشعبت وابتعدت عن القلب، يزداد عددها، ويصغر حجمها، ويضيق

قطرها، حتى تنتهي بمليارات من الشعيرات، بقطر لا يزيد عن خمسة ميكرون (في الثدييات) وطول لا يزيد عن ملليمتر واحد، وتتمكن بذلك من تخلل جميع أنسجة جسم الكائن الحي والوصول إلى كل نقطة فيها.

لقد تناولنا في بداية هذا الفصل، دور الخصائص الفريدة للماء في مساعدة الصياد الأفريقي على مطاردة فرائسه، ومن تلك الخصائص التي تناولناها، التبريد بالتبخر، والسعة الحرارية العالية للماء، وقدرة الماء على نقل الحرارة الناتجة عن الأيض لمسافات قصيرة، غير أن هذه الحزمة من الخصائص، رغم أهميتها، لا تكفي وحدها، ولن تكون مجدية ما لم يكن هناك دورة دموية تنقل الحرارة من الأعضاء الداخلية للجسم إلى الأطراف والجلد.

ولا بد لنا من أن نعود للماء وخصائصه المدهشة مرة أخرى، ذلك لأن الدورة الدموية، لا تستطيع القيام بالدور المطلوب منها في نقل الحرارة الزائدة من أنسجة الجسم وأعضائه الداخلية، إلى الجلد والأطراف، إلا بمساعدة خصائص الماء المدهشة، وقوانين ميكانيك السوائل، (الهيدروليك أو الهيدرودينامیك).

إن خصائص الماء – التي لولاها لما كان هناك دورة دموية – أربعة:

١– قابلية الماء الممتازة للإذابة.

مكتبة
t.me/t_pdf

٢– عدم قابلية الماء للانضغاط.

٣– الكثافة المنخفضة للماء، بما يتناسب مع الطاقة التي تنتجها المضخات البيولوجية.

٤– اللزوجة المنخفضة للماء والدم، ولو كانت لزوجتهما أعلى لما أمكن

أن تضخ الدماء عبر الأوعية الدموية.

وسنتناول بالتفصيل أثر كل من العوامل السابقة في الدورة الدموية.

١–خصائص الماء كوسط مذيب: لا يوجد أي سائل معروف يستطيع أن يقوم بالدور الذي يقوم به الماء كمذيب للعناصر الكيميائية التي يحتويها الدم وينقلها عبر الدورة الدموية، ولو كان السائل المستخدم لنقل المواد المذابة في الدم سائلاً آخر غير الماء، فإن كمية ونوعية المواد المنقولة ستكون مقيَّدة إلى حد كبير، وهذا سيؤدي إلى تقييد في العمليات الحيوية اللازمة لحياة الإنسان، ولن يتمكن الإنسان من البقاء على قيد الحياة، كما يقول العالم ريتشارد هندرسون.(١)

٢– عدم القابلية للانضغاط: إن الصفة الأساسية التي يجب أن يتميز بها أي سائل يتم ضخه عبر شبكة أنابيب، هي أن يكون غير قابل للانضغاط، أي لا يتقلص حجمه مهما كانت قوة الضغط التي يتعرض لها، وهي صفة يتصف بها الماء بامتياز، وهذه ميزة يغفل عنها الكثيرون ممن يدرسون خصائص الماء وأهميتها في استمرار الحياة، إذ لو كان الماء قابلاً للانضغاط لما أمكن لعملية ضخ الدم من القلب أن تتم، ولاضطربت الدورة الدموية، ولما أمكن للإنسان أن يعيش. ومن نافلة القول إضافة أن ميزة عدم قابلية الماء للانضغاط ليست ذات أهمية في المخلوقات المجهرية التي لا يوجد فيها نظام دورة دموية، وإنما أهميتها الكبرى في كل مخلوق يعتمد في البقاء على قيد الحياة على نظام دورة دموية، بما في ذلك الإنسان.

---

(١) Lawrence Henderson, The Fitness of the Environment: An Inquiry into the Biological Significance of the Properties of Matter (New York: The Macmillan Company, 1913), 68 and 116.

٣- **الكثافة**: يتمتع الماء كغيره من السوائل بكثافة منخفضة قياساً بالأجسام الصلبة، فالحديد مثلاً كثافته تقارب ثمانية أضعاف كثافة الماء، ومعدن التنغستين كثافته تعادل أكثر من تسعة عشر ضعفاً من كثافة الماء، وهناك سائل تعادل كثافته ثلاثة عشر ضعفاً من كثافة الماء في درجة الحرارة العادية وهو الزئبق، وحتى نتصور مقدار صعوبة ضخ الدم لو كان الماء أكثر كثافة، دعونا نفترض أن كثافة الماء تضاعفت ثلاثة مرات فقط، في هذه الحالة سيكون وزن الليترات الخمس من الدم في جسم الإنسان خمسة عشر كيلوغراماً بدل أن يكون خمسة كيلوغرامات كما هي الحال الآن، وفي هذه الحالة لن يكون من الممكن وجود دورة دموية، لأن القلب لن يكون قادرا على ضخ دم بهذه الكثافة.

٤-**اللزوجة**: العامل الرابع والأهم من العوامل التي تجعل الماء ملائما لاستخدامه في الدورة الدموية، هو اللزوجة المنخفضة نسبيا للماء، فالغالبية العظمى من السوائل لزوجتها تزيد عن لزوجة الماء أضعافاً مضاعفة، وكما ذكرنا في الفصل الأول، فإن الماء يُعَد واحداً من أقل السوائل لزوجة في الطبيعة، وهذا ما يجعله في غاية الملائمة ليكون السائل الذي تقوم عليه الدورة الدموية.

إن الضغط اللازم لضخ السوائل عبر الأنابيب P، يتناسب طردياً مع لزوجة السائل V (أي يزداد الضغط اللازم كلما زادت لزوجة السائل)، ويعبر عن ذلك بمعادلة بسيطة هي: $P=KV$ حيث K هو رقم ثابت، لذلك يمكننا القول بأنه لو زادت لزوجة الماء عمّا هي عليه، لتطلب ذلك زيادة القوة اللازمة لضخ الدم عبر شبكة الأوعية الدموية في جسم الإنسان، ولأصبح من المستحيل على المضخات البيولوجية في جسم الإنسان أن تقوم بعملها.

ويتضح لنا تأثير لزوجة الماء بشكل أكبر إذا علمنا أن حوالي ١٠% من طاقة الجسم يتم صرفها في عملية ضخ الدم بواسطة القلب، ولنا أن نتخيل كم من الطاقة سيحتاج الإنسان لتفعيل الدورة الدموية لو أن لزوجة الماء مثل لزوجة العسل التي تزيد عن لزوجة الماء بآلاف المرات، أو حتى لو كانت لزوجة الماء مساوية للزوجة زين الزيتون، التي تعادل ثمانين ضعفا من لزوجة الماء.

ولا تقتصر أهمية لزوجة السائل على علاقتها بكمية الطاقة اللازمة لضخ السائل، ولكن هناك عامل آخر في غاية الأهمية يتعلق باللزوجة، ألا وهو علاقة اللزوجة بمعدل انتشار المواد المذابة في السائل، وهذه العلاقة تحددها المعادلة التالية: $V=K / D$ حيث V هي اللزوجة، D معدل انتشار المواد في السائل، و K رقم ثابت، ويتضح من المعادلة أن انتشار المواد المذابة في السائل يتناسب عكسياً مع لزوجته (أي كلما زادت اللزوجة كلما نقص معدل انتشار المواد المذابة في السائل) ولتوضيح ذلك نضرب مثالاً، إن جزيء الأوكسيجين المذاب في الماء يحتاج لثانية واحدة حتى يعبر مائة ميكرون من الأنسجة، أي ما يعادل سماكة عشر خلايا، ولو كانت لزوجة الماء كلزوجة العسل، لاستغرق ذلك ساعة كاملة، أي ٢١٦٠٠٠ ضعف الزمن اللازم في الماء.

ويمكن القول بأن لزوجة الماء لو كانت أكبر بعشرة أضعاف لأصبحت معظم خلايا جسم الإنسان بعيدة عن متناول انتشار المواد المذابة في الدم عبر الشعيرات الدموية.

دعونا نتخيل قليلاً

لو أن بإمكاننا إعادة تصميم الدورة الدموية بناء على لزوجة عالية للماء،

لواجه تصميمنا المعدّل والمفترض صعوبات لا يمكن التغلب عليها، ذلك لأن تعديل التصميم لتعويض نقص الانتشار الناتج عن زيادة اللزوجة يمكن أن يتم بإحدى طريقتين: إما بزيادة عدد الشعيرات الدموية، وإما بإنقاص قطرها، وكلا الأمرين غير ممكن.

أما زيادة عدد الشعيرات الدموية، فهو غير ممكن لأن الأنسجة والعضلات مكتظة أصلا بتلك الشعيرات، ولا مجال لزيادتها على حساب حجم العضلات والأنسجة، ذلك أن مليمترا واحدا من العضلات يحتوي على مئات وأحياناً آلاف الشعيرات الدموية، ويبلغ حجم الدم إلى حجم جسم الإنسان في الثدييات والطيور حوالي ٦.٥ %، وزيادة حجم الدم في الجسم سيتطلب زيادة في الطاقة اللازمة لضخه وسيكون على حساب الأنسجة والعضلات.

أما الخيار الثاني لتعديل التصميم المطلوب لو كان الماء أكثر لزوجة، فهو الإبقاء على الحجم الكلي للدم وللشعيرات ولكن بإنقاص نصف قطرها، لأن هذا من شأنه أن يقلل المسافة بين الشعيرات الدموية والأنسجة التي يغذيها الدم، ولكن هذا الخيار أيضا غير عملي وغير ممكن، لأن هذا يتطلب زيادة كبيرة جدا في قوة ضخ الدم، حسب معادلة معروفة عند علماء ميكانيكا السوائل، هي معادلة Hagen-Poiseuille وهي على النحو التالي: $F=Kr^4$ حيث F معدل التدفق، K رقم ثابت، r هو نصف قطر الشعيرة الدموية، وهذه المعادلة تعني أننا لو أنقصنا قطر الشعيرة الدموية إلى النصف، فعلينا أن نزيد قوة ضخ الدم ستة عشر ضعفاً، وهذا أمر غير ممكن إطلاقاً.

خلاصة القول، يمكن التأكيد ببساطة ودون تردد، على أنه لو كانت

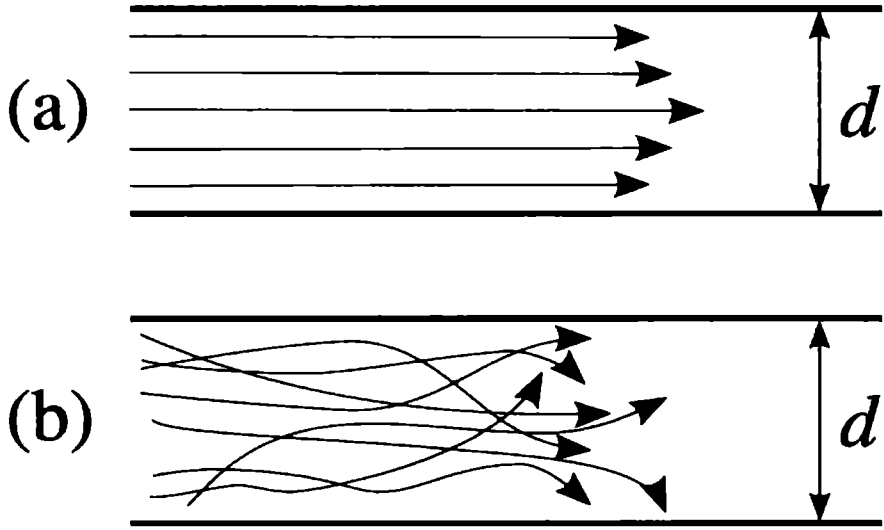
لزوجة الماء أعلى مما هي عليه، فلن يكون عمل نظام الدورة الدموية المغلقة المستخدم حاليًا من جهة أشكال الحياة المعقدة الكبيرة على الأرض، كالثدييات والطيور، ممكناً، وهذا مؤشر هام يدل على أن ملاءمة خصائص الماء ليست فقط للكائنات البسيطة والبكتيريا ووحيدات الخلية، ولكنها أيضا في غاية المناسبة والملاءمة للكائنات المعقدة فيزيولوجياً، وعلى رأسها الإنسان.

حسناً، دعونا نرى الاتجاه الآخر، رأينا فيما سبق أن الماء لو كان أكثر لزوجة لما أمكن لنظام الدورة الدموية أن يعمل، ماذا لو كان الماء أقل لزوجة مما هو عليه؟

الجواب المدهش هنا أن الماء لو كان أقل لزوجة فسيكون السائل الدموي أقل تماسكاً وسيكون جريانه مضطرباً، كما يظهر في الشكل (٦-٣).

وهذا التدفق المضطرب يشكل وسطاً مناسباً لتكوين الجلطات الدموية، كما أنه يساهم في تلف بطانة جدران الشرايين الدموية ما يؤدي إلى تصلب الشرايين.

ولو كان الماء أقل لزوجة، فإن عدم تماسك السائل واضطرابه أثناء جريانه سيؤدي إلى الحاجة لقوة ضخ إضافية حتى تضمن للدم قوة الحركة والتدفق المطلوبة في العروق والشعيرات الدموية، وذلك لأن الاضطراب وعدم التماسك يؤديان لنشوء دوامات داخلية أثناء جريان السائل، تقاوم قوة الضخ، ما يتطلب زيادة هذه القوة.



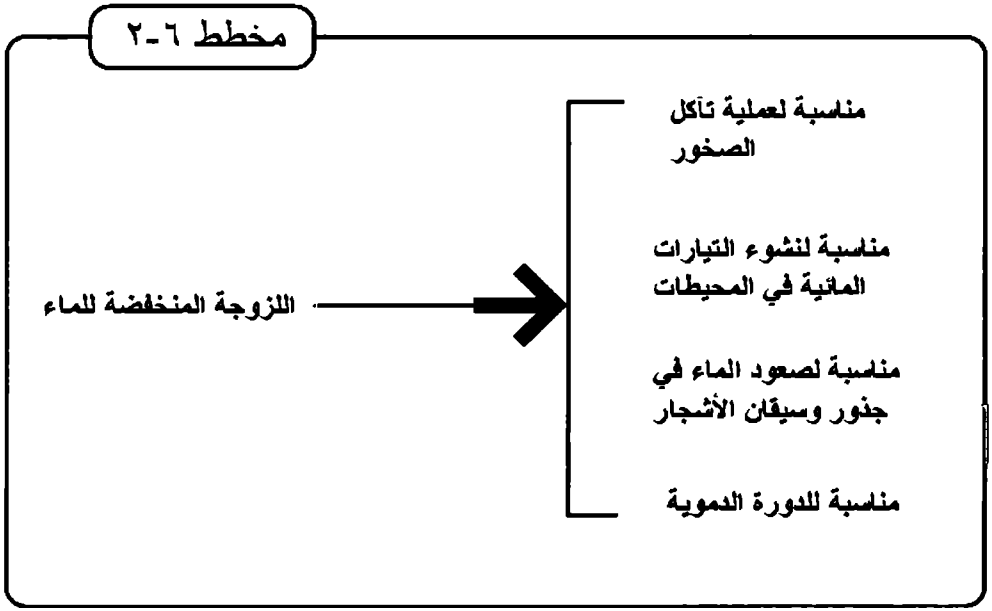
الشكل ٦.٣ الفرق بين جريان الدم الانسيابي (a) – والمضطرب (b)

(حيث d قطر العروق الدموية)

وهناك عيب آخر يسببه الاضطراب الناتج عن انخفاض اللزوجة بشكل كبير، وهو أن العلاقة بين قوى القص التي تتأثر بها جدران الشرايين أثناء تدفق الدم ستتغير باستمرار، وهذا يؤثر على تكيف الشرايين مع الجهد الذي يبذله الجسم عند البالغين أثناء تأدية تمارين رياضية على سبيل المثال، وعلى قدرة الشرايين على المحافظة على الكمية الصحيحة المطلوبة من تدفق الدم عبر الشرايين في تلك الأحوال.

يا للعجب، لقد رأينا أن لزوجة الماء مناسبة لنظام الدورة الدموية، ومناسبة تماماً لعمليات حت وتعرية الصخور ونقل محتوياتها الغذائية للأرض الزراعية، ومناسبة لتوليد التيارات المائية في المحيطات ولخلط وتقليب الطبقات

العليا منها، ومناسبة لتكون الناقل المثالي لغذاء النباتات عبر جذور الأشجار وسيقانها، ومناسبة للحفاظ على بنية الخلية الحية.



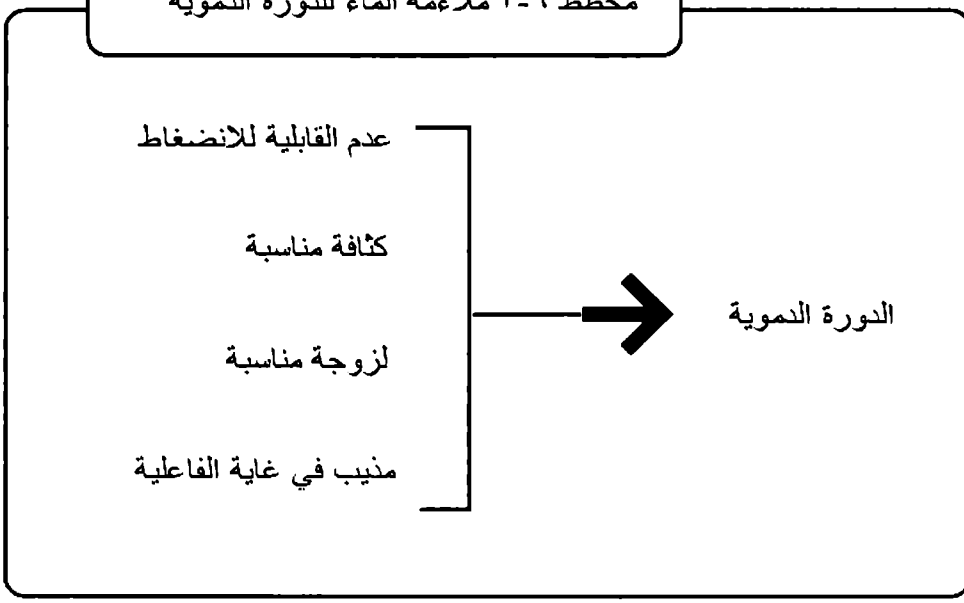
أليس من المدهش أن لزوجة الماء مناسبة لجريان الدم في عروق شعرية لا يزيد قطرها عن ثلاثة ميكرون، وفي الوقت نفسه مناسبة تماماً لتهدر من الشلالات العالية، وتحت الصخور، وتجدد المحتوى المعدني للغلاف المائي كما سبق ورأينا؟

حكم الضرورة

إن التأمل والتدقيق فيما يمكن تسميته (المواصفات التصميمية للدورة الدموية) في الكائنات المعقدة على اختلاف أنواعها، من ثدييات وطيور وغيرها، سيلاحظ بوضوح تشابه تلك المواصفات بين كافة الأنواع المذكورة،

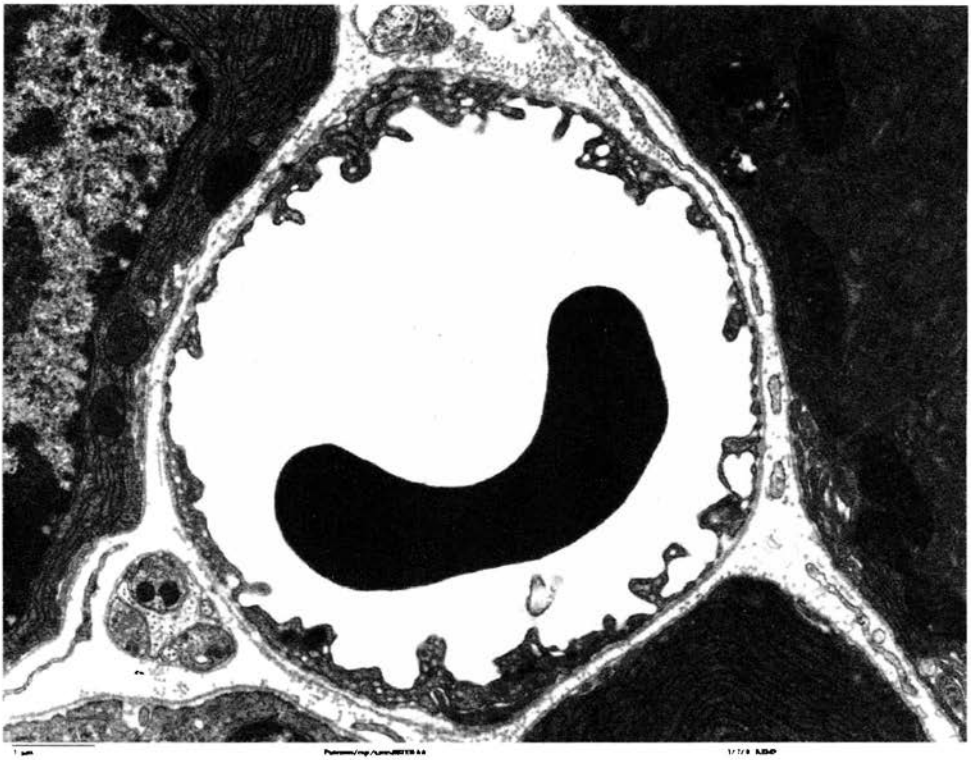
فمثلاً، هناك فرق بسيط بين أقطار الشعيرات الدموية عند الفيل وعند الخفاش، وسبب التشابه لمن تأمل، هو أن الدورة الدموية عند كل تلك الكائنات، تعتمد في عملها وفاعليتها على الخواص الفريدة للماء نفسه وليس الكائن، مثل كثافة الماء ولزوجته وقدرته على إذابة العناصر الأخرى فيه ونقلها ومعدل انتشار العناصر الذائبة فيه، إن كل ميزة مما ذكرناه لها قيمة محددة (اللزوجة، الكثافة..إلخ)، ولو زادت قيمة أي عامل من تلك العوامل أو نقصت عما هي عليه، لما أمكن للدورة الدموية أن تعمل، حتى لو قمنا بتعديل تصميمها كما مر معنا.

مخطط ٦-٣ ملاءمة الماء للدورة الدموية



وهنا نخلص إلى نتيجة جانبية ولكنها هامة وجديرة بالذكر: لقد لاحظنا مما سبق أن مجموعتين مختلفتين من العوامل على الأقل (لأنه هناك مجموعات أخرى ليست موضوع كتابنا هذا)، كل منها تتألف من عناصر عديدة، تتحدان معا فتشكلان المواصفات التصميمية لنظام الدورة الدموية، وهذا

يدل بشكل واضح على أن تصميم الدورة الدموية ناتج عن تخطيط وتصميم مسبق، بتعبير آخر، من قام بهذا التصميم المدهش كان يعلم مسبقاً كيف ستكون نتيجته النهائية.



الشكل ٣.٦ كُرَيَّة دم حمراء في الشعيرات الدموية البنكرياسية في الثدييات

خلاصة القول في علاقة الماء بالدورة الدموية: إن سائل الماء يتميز بخصائص فريدة تجعل منه السائل المثالي الذي يمكن استخدامه في الدورة الدموية التي هي نظام حيوي أساسي لا غنى عنه لحياة كل الكائنات المعقدة، وبناء على هذه الحقيقة فإن وجود البشر وبقية الكائنات الحية التي تعيش على الدورة الدموية لم يكن ممكناً لولا تلك الخصائص التي يتمتع بها

الماء، كما أن وجود الكائنات البرية مرتبط بمجموعة أخرى من خصائص الماء، هي خصائصه الحرارية، ولئن كانت الطبيعة ملائمة لوجود وحياة الكائنات ومنها الإنسان، فالفضل يعود بالدرجة الأولى لمجموعتين من خصائص الماء الفريدة: مجموعة خصائصه التي تجعله وسطا مثاليا للدورة الدموية (الكثافة، اللزوجة، الإذابة..إلخ)، ومجموعة خصائصه الحرارية (الناقلية، التبريد بالتبخر...إلخ)

الأيض بالأكسدة

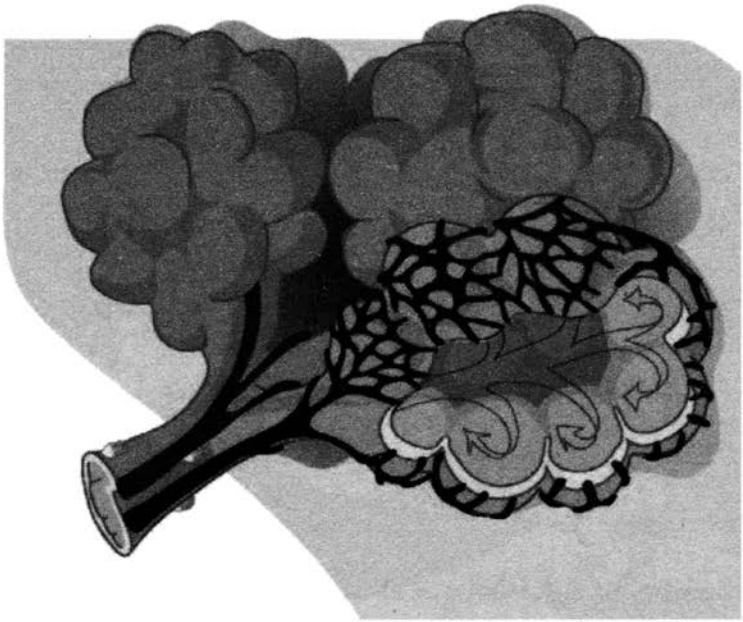
نتحدث هنا عن دور صفات الماء الفريدة في عملية حيوية أخرى أساسية لبقاء الكائنات الحية، وهي عملية الأيض بالأكسدة، والأيض باختصار هو التفاعلات الكيميائية التي تتم داخل خلايا جسم الإنسان وغيره من الكائنات الحية، لاستخلاص الطاقة التي يحتاجها الجسم من الغذاء، وتتم بواسطة أكسدة المواد السكرية والمواد الكربونية الأخرى، أي تفاعلها مع الأوكسجين، وهي عملية معاكسة كيميائيا لعملية التركيب الضوئي التي تناولناها في فصل سابق، ورأينا الدور الأساسي لمزايا الماء فيها.

ونذكِّر قراءنا الكرام بأن عملية التركيب الضوئي تحدث في أوراق النبات الخضراء عندما يلامسها ضوء الشمس، فيتفاعل الماء الموجود في النبات مع ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الهواء بواسطة الطاقة الناتجة عن ضوء الشمس، وينتج لدينا الغلوكوز والأوكسجين، كما هو موضح في المعادلة التالية:

ضوء + ثاني أكسيد الكربون + ماء ==> سكر الغلوكوز + أوكسجين

أما عملية الأيض، فهي عملية معاكسة لعملية التركيب الضوئي كما بينا ومعادلتها على النحو التالي:

سكر غلوكوز + أوكسجين ==> طاقة + ثاني أوكسيد الكربون + ماء + حرارة



الشكل ٦.٤ الحويصلات الرئوية

إن إنتاج الطاقة هو الهدف الأساسي من عملية الأيض بالأكسدة، أما الماء وثاني أوكسيد الكربون والحرارة، فهي نواتج جانبية لهذا التفاعل، وهنا تبرز من جديد خصائص الماء الفريدة العجيبة، والتي تساعد الجسم على التعامل مع هذه النواتج واحداً واحداً:

فأما الماء نفسه: فيقوم الجسم بطرح الزائد منه بإحدى طريقتين: إما بواسطة التبول، وهي عملية تعتمد على وجود الدورة الدموية، والتي رأينا أنها تعتمد بدورها على خصائص الماء الفريدة، وإما بواسطة الطرح عبر التعرق،

وهي عملية تعتمد على قدرة الماء الفائقة على التبخر في درجات حرارة الجو العادية، ومن المدهش أن بعض الكائنات النادرة، مثل فأر الكانغارو، يكفيها الماء الناتج عن الأيض بحيث إنها لا تحتاج إطلاقا إلى أن تستهلك الماء الذي ينقصها عن طريق شربه كما تفعل معظم الكائنات البرية.

وأما ثاني أوكسيد الكربون: فهو يتفاعل مع جزء من الماء الناتج عن عملية الأيض، (الماء الذي يطرحه الجسم بالتبول أو التعرق هو ما يزيد عن هذا التفاعل)، وينتج مادة البيكربونات، والتي يحملها الدم إلى الرئتين، فتتفكك من جديد إلى ثاني أكسيد الكربون وماء، أما الماء فيبقى في الدم، وأما ثاني أوكسيد الكربون فتطرحه الرئتان بواسطة الزفير.

وأما الحرارة الزائدة: والناتجة عن عملية الأيض، فلا بد من التخلص منها لأن ارتفاع حرارة الجسم فوق حد معين أمر مميت كما هو معلوم، ومن جديد، يبرز الماء وخصائصه الفريدة، والتي تُمكِّن جسم الإنسان من المحافظة على درجة حرارته حتى في أشد ظروف الطقس حرارة، ومهما بذل من جهد يتطلب مضاعفة عملية الأيض، فالماء هو السائل الأنسب والأصلح للدورة الدموية، والتي تحمل ما زاد من حرارة داخل الجسم، إلى أطراف الجسم وإلى الجلد، وهناك تقوم خصائص الماء أيضا مثل الناقلية والتبريد بالتبخر، بالتخلص من تلك الحرارة الزائدة.

مزيد من الأدوار المدهشة

مركب البيكربونات: ذكرنا في الفقرات السابقة أن ثاني أوكسيد الكربون الناتج عن عملية الأيض، يتفاعل مع جزء من الماء الناتج عن العملية نفسها، وأن ناتج هذا التفاعل هو مركب البيكربونات، وهي مادة تلعب

دورين هامين جداً في بيولوجيا الكائنات العليا مثل الإنسان، ذكرنا أحدهما وهو أنها تنتقل بواسطة الدم إلى الرئتين حيث تتفكك هناك من جديد إلى ماء وثاني أوكسيد الكربون، فيبقى الماء في الدم، وتقوم الرئتان بطرح ثاني أوكسيد الكربون، فالدور الأول الذي تقوم به مادة البيكربونات هو تخليص جسم الكائن الحي من مخلفات عملية الأيض، وهذا الدور بالذات ما كان ليتم لولا الخصائص الفريدة للماء، فالماء هو الذي يتفاعل مع ثاني أوكسيد الكربون لتنتج البيكربونات، والفضل للماء في نقل مادة البيكربونات عبر الدورة الدموية إلى الرئتين، لتتفكك من جديد إلى ماء يبقى في الدم وثاني أوكسيد الكربون تطرحه الرئتان خارج الجسم، لقد رأينا بالتفصيل أن الماء هو الوسط المثالي للدورة الدموية، ولولا خصائصه الفريدة لما أمكن وجود دورة دموية في الكائنات ذوات الدم الحار ومنها نحن البشر.

أما الدور الثاني الذي تقوم به مادة البيكربونات، فهو أنها تحافظ على معدل الحموضة في الجسم، بواسطة عمليات كيميائية معقدة، نلخصها كما يلي: يؤدي ارتفاع الحموضة في الدم فوق الحد المطلوب إلى زيادة في ذرات الهيدروجين فيه، وهنا تتدخل مادة البيكربونات لتقوم بامتصاص ذرات الهيدروجين الزائدة عن طريق التفاعل معها، وينتج عن هذا التفاعل حمض الكربون والماء، فإذا ما انخفضت نسبة الحموضة، يحدث تفاعل معاكس، فيتحلل حمض الكربون إلى بيكربونات وهيدروجين.

بعد استعراضنا للدور الحيوي الذي يقوم به الماء بخصائصه الفريدة في عملية الأيض، دعونا نتذكر ما تحدثنا به في الفصل السابق عن دور الماء أيضاً في عملية التركيب الضوئي، وهي عملية لا بد أن تسبق في وجودها الأيض، ولو تأملنا في هاتين العمليتين، لاستنتجنا أمراً مدهشاً: لدينا عملية

رقم (١) هي التمثيل الضوئي، وحتى تتم لا بد لها من توفر حزمة معينة (س) من خصائص الماء كما رأينا، ولدينا عملية ثانية (٢) هي عملية الأيض، وهذه أيضا لا بد لها حتى تتم من حزمة أخرى من خصائص الماء (ص) إذن، قبل حصول الأيض لا بد من حصول التمثيل الضوئي، وكل منهما يعتمد على خصائص معينة للماء حتى يتم، فتعمر الأرض وتستمر الحياة عليها.

هو الماء إذن، أينما ذهبنا في الأرض وأنى دققنا في حاجة الكائنات نجده وراء كل عملية حيوية من شأنها بقاء الكائنات الحية على قيد الحياة، في جسم الإنسان، وفيما تبقى من هذا الكتاب المزيد.

إن وجودنا كان ومايزال ممكنًا فقط بسبب الملاءمة القصوى للطبيعة من خلال خصائص الماء المهيأة تماماً لتصميمنا الفيسيولوجي والبيولوجي، وهذا يعني أن ملاءمة الطبيعة لتصميمنا قد تم ترتيبها مسبقًا في الطبيعة منذ بداية الوجود.

يجب أن يُعْتَبَر هذا اكتشافًا علميًا من الدرجة الأولى، وهو اكتشاف له في حد ذاته تداعيات عميقة فيما يتعلق بمكاننا المقدَّر في هذا الكون.

إن بداية وجودنا، تلك اللحظة المصيرية، قد تم تمكينها في ظروف أُعدت لنا بشكل خاص، من أهمها خصائص الماء المحددة الملائمة لوجودنا عن طريق العديد من الطرق المدهشة، وهذا بالتأكيد لا يمكن أن يكون من خبط عشواء أو مصادفة غير محسوبة، لا بد أن الأرض قد تم إعدادها بشكل مناسب لاستقبالنا.

من المؤكد أن وجودنا كان أمراً مقدراً، وليس وليد الصدفة، أمراً مصيرياً

وليس مجرد حظ، هذا ما تخبرنا به ملاءمة خصائص الماء المدهشة لوجودنا واستمرار حياتنا...

تخبرنا أن الأرض كانت معدة بشكل مدهش لاستقبالنا.

الفصل السابع

الماء والخلية الحية

هناك إجماع في الأوساط العلمية على وجود شرطين أساسيين لقيام نظام بيولوجي معقد قادر على القيام بكل تفاعلات الكيمياء الحيوية التي تتطلبها الخلايا الحية:

الشرط الأول: أن تتم هذه التفاعلات في مجال محدد من درجات الحرارة، لا يقل عن ٥٠ درجة مئوية تحت الصفر، ولا يزيد عن ١٣٠ درجة مئوية فوق الصفر، أي ضمن مجال حراري مقداره ١٨٠ درجة مئوية.

والشرط الثاني: أن تتم تلك العمليات الحيوية في وسط سائل يتميز بخصائص وميزات محددة لا بد من توفرها لتتم تلك العمليات، ومن أهمها أن يحافظ على سيولته في مجال درجات الحرارة المطلوبة لتلك العمليات، وهو المجال الملائم للحياة على وجه الأرض، فلو نظرنا إلى المواد الصلبة، لوجدنا أن الروابط المتينة بين ذراتها تترك مجالا ضئيلا جداً بينها لعمليات الكيمياء الحيوية المطلوبة للحياة، ومن جهة أخرى فإن الغازات بطبيعتها غير مستقرة وقابلة بشدة للتغير تحت أي تأثير في محيطها، لذلك لا يمكن اعتبار الوسط الغازي بشكل جدي وسطاً مناسباً لتفاعلات الكيمياء الحيوية اللازمة لاستمرار الحياة.

أما بالنسبة لدرجات الحرارة المذكورة، فهي الحدود العليا والدنيا الممكنة، ولكن في الحقيقة فإن معظم الكائنات العليا المعقدة لا تستطيع العيش غالباً إذا زادت الحرارة عن ٥٠ درجة مئوية، في حين هناك بعض أنواع البكتيريا التي تستطيع العيش في درجة حرارة تصل إلى ١٢٢ مئوية، ونحن نعلم أن

الماء لا يكون سائلاً في درجة تزيد عن ١٠٠ مئوية، لكن هناك حالة خاصة هي الماء الموجود في قاع المحيطات عند الصدوع البحرية البركانية، فهذا الماء مُعرض لضغط هائل في تلك الأعماق تجعله يبقى سائلا حتى ١٢٢ مئوية.

وقبل أن نبين كيف يتضافر الشرطان المذكوران ويتعاونان على توفير الظروف المناسبة لحياة الخلايا الحية، دعونا نلقي نظرة على بعض خصائص المركبات العضوية، وهي المركبات التي تجري عليها كل عمليات الكيمياء الحيوية اللازمة لاستمرار حياة الخلية.

سلوك المركبات العضوية في التفاعلات الكيميائية

تعلمنا في مقررات الكيمياء المدرسية، أن ذرات العناصر المختلفة تتحد ببعضها لتكوين الجزيئات، فمثلاً نعلم أن جزيء الماء هو اتحاد ذرتين من الهيدروجين بذرة أوكسجين (H_2O)، وأن ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) هو اتحاد ذرة كلور مع ذرة صوديوم ($NaCl$)، وأن غاز ثاني أوكسيد الكربون هو اتحاد ذرة كربون بذرة أوكسيجين (CO_2).

كما تعلمنا أن هناك نوعين من الروابط بين الذرات التي تشكل الجزيئات: روابط أيونية، وروابط تشاركية (أو تساهمية)، والذي نريد قوله هنا هو أن الروابط الأيونية تتميز بأنها روابط قوية يصعب تفكيكها في حين أن الروابط التشاركية ضعيفة يسهل تفكيكها، وأن الروابط بين الجزيئات العضوية هي روابط من النوع التشاركي، لذلك فإن تفكيكها سهل أثناء التفاعلات الكيميائية.

وهناك فرق أخر هام بين المواد العضوية وغير العضوية، وهو اختلاف

تأثرهما بالحرارة، ولبيان ذلك نجري التجربة البسيطة التالية: لو ملأنا ملعقة بملح الطعام، وأخري بتراب (كلاهما مركبات غير عضوية)، وثالثة بالسكر (مركب عضوي)، ثم قمنا بتسخين الملاعق الثلاث، سنجد عند ارتفاع الحرارة إلى ما فوق ١٨٠ درجة مئوية أن السكر قد بدأ بالغليان والانصهار، وأنه تحول إلى سائل أصفر، لو قمنا بتحليله لوجدنا أنه يتألف من مركبين مختلفين: الأول هو الغلوكوز والثاني هو اللاكتوز، ولو استمر التسخين فسيتحول السكر في النهاية إلى ماء وثاني أوكسيد الكربون، وسيبقى في الملعقة بقايا من الكربون على شكل رماد هش، ولن يكون بالإمكان إعادة السكر إلى ما كان عليه بعد هذا التفكك، أما الرمل فمهما سخناه يبقى رملا، والملح يبقى ملحا.

ولكن المهم لدينا في هذه التجربة هو أن ضعف الروابط الكيميائية في الجزيئات العضوية، وسهولة تفككها وتحللها عند ارتفاع حرارتها، هي ميزات إيجابية لها لأنها تسهل التغيرات والتفاعلات الكيميائية لهذه المركبات، وتسهل تفككها إلى مركبات أخرى، وهذا ما يجعلها من الشروط الأساسية لحياة الخلايا، فبدون توفرها لا يمكن أن تقوم أي من تفاعلات الكيمياء الحيوية في الخلية، مثل الأيض، والتي لا بد منها لاستمرار الحياة.

التوافق المدهش العجيب

دعونا نرجع الآن إلى الشرطين الأساسيين اللازمين لقيام نظام بيولوجي قادر على القيام بكل تفاعلات الكيمياء الحيوية التي تتطلبها الخلايا الحية.

وهما:

مجال درجات الحرارة

قد يبدو لنا مقدار المجال الحراري الذي ذكرناه أعلاه، وهو ١٨٠ درجة مئوية، مجالاً واسعاً، ولكن لو نظرنا إلى درجات الحرارة العليا والدنيا في الكون، لوجدنا أن أدنى درجة حرارة يمكن توفرها نظريا هي -٢٧٩ مئوية تحت الصفر، أما أعلى درجة حرارة معروفة في كوننا اليوم، فيقدّرها العلماء بأنها بضعة مليارات من الدرجات المئوية في قلب بعض النجوم، وحتى في شمسنا، وهي لا تعتبر من النجوم الحارة، فإن درجة الحرارة في قلبها خمسة عشر مليون درجة مئوية، وعلى سطحها ستة آلاف درجة مئوية، لذلك فإن ضآلة المجال الحراري الذي تجري فيه عمليات الكيمياء الحيوية هو أمر لا يمكن عمليا تصوره، فهذا المجال نسبته إلى المجال الحراري الموجود في الكون هو ١ مقسوماً على ١٠ مرفوعة للقوة ٢٩، أي ١/١٠[٢٩]

الوسط السائل

وهنا يأتي التوافق العجيب المدهش، ذلك أن السائل الوحيد الملائم ليكون وسطاً مناسباً لتفاعلات الكيمياء الحيوية في هذا المجال الحراري شديد الضآلة، هو الماء، والماء فقط، فهو السائل الوحيد الذي يحافظ على سيولته في درجات حرارة الوسط المحيط في الأرض، ومنها درجة حرارة جسم الإنسان، وهو السائل الوحيد المناسب للتفاعلات الكيميائية الحيوية كما رأينا عندما تعرضنا لعلميات الأيض، إذن لدينا هذا التوافق العجيب بين الشرطين اللازمين لتفاعلات الكيمياء الحيوية: مجال حراري يناسب عمليات تفاعل وتفكك المواد العضوية، وسائل يمثل الوسط المثالي للقيام بهذه العمليات في هذا المجال الحراري نفسه، لما يتوفر فيه من ميزات فريدة مدهشة

لا يحققها أي سائل آخر، وسنرى مزيدا من التفصيل حول هذا الأمر فيما يلي من هذا الفصل.

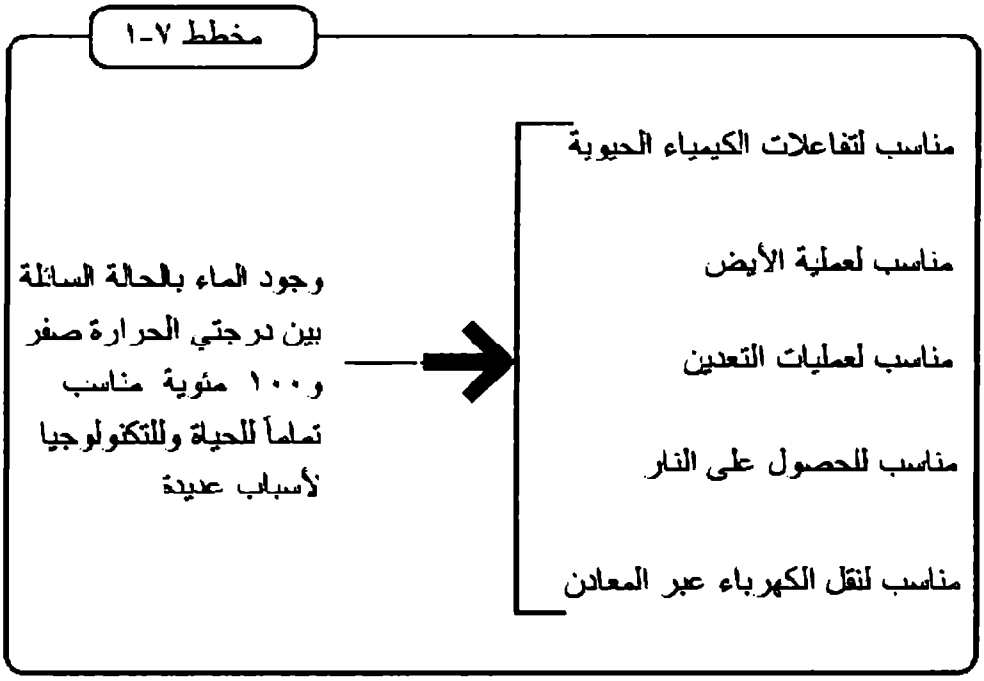
فياله من سائل عجيب، له خصائص فريدة عجيبة، مناسبة للدورة المائية، ومناسبة لعمليات الحت والتعرية، ومناسبة للحفاظ على النظام الحراري للكرة الأرضية، ومناسبة لعمليات التركيب الضوئي، ومناسبة للحفاظ على المحيطات، ومناسبة للدورة الدموية في الكائنات المعقدة، ومناسبة لعمليات الأيض، ومناسبة كوسط سائل للعمليات الحيوية في الخلية الحية. فلو لم يكن الماء قادرا على المحافظة على سيولته بين درجتي الصفر والمئة، فإن كل الظروف الأخرى المطلوبة لقيام حياة لم تكن لتكفي، وما كان للأرض أن يكون عليها كائنات حية.

ومن العجيب أن هذا المجال من درجات الحرارة مناسب تماماً لعمليات حيوية أخرى، على سبيل المثال، في درجات الحرارة التي تقل عن ٥٠ مئوية، تكون نسبة الأوكسيجين في الجو، وهي ٢١%، مناسبة تماما لتنفس الإنسان، ومناسبة أيضا ليتمكن الإنسان من السيطرة على اشتعال النار، وهو ما جعل عمليات التعدين ممكنة، والتعدين كان الخطوة الأولى في كل التقدم التكنولوجي الذي وصلت إليه البشرية.

كما أن المجال الحراري بين درجتي صفر مئوية و ٥٠ مئوية هو المجال الذي يكون فيه الأوكسيجين في أعلى قابليته للذوبان في الماء، وهذا لا تحتاجه الكائنات المائية فقط، والتي تعيش على تنفس الأوكسيجين الذائب في ماء البحر، بل تحتاجه أيضا الكائنات البرية التي تعتمد في حياتها على الدورة الدموية، لأن الأوكسيجين يجب أن يذوب في الدم قبل أن تنقله خضاب الدم إلى الأنسجة.

خلاصة القول، المجال الحراري الذي يكون الماء فيه سائلاً هو المجال المثالي لعمليات الكيمياء الحيوية، وحياة الكائنات البرية والبحرية، والتحكم بالنار، واستخدام المعادن في التكنولوجيا.

فهل هي مصادفة أن يكون هذا المجال الحراري في نطاق شديد الضآلة، هو ١/١٠[٢٩] من المجال الحراري المعروف في كوننا؟



ما هو سر تميز الماء؟

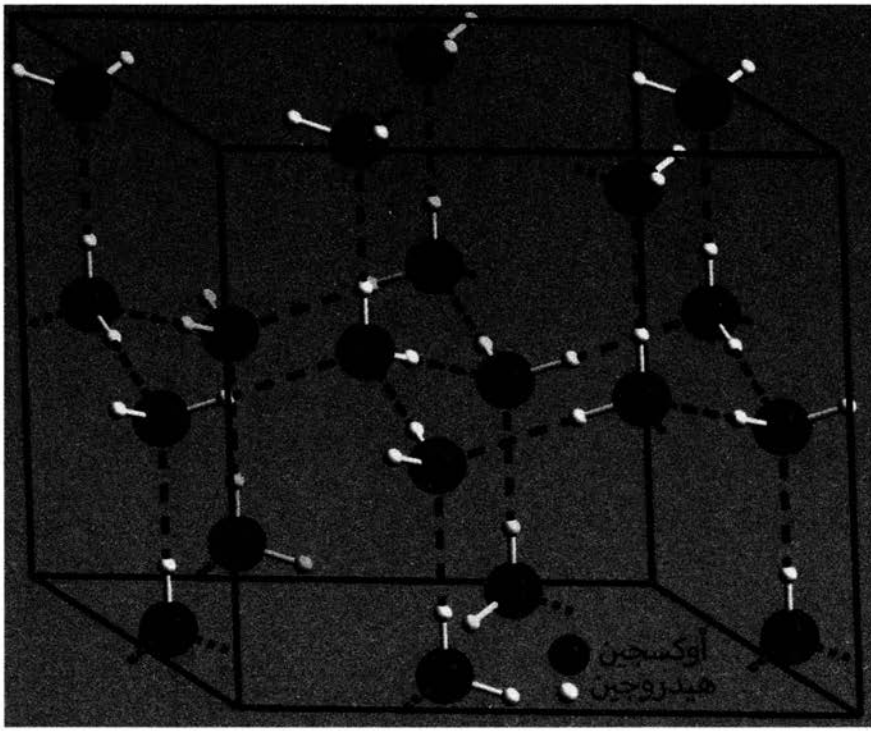
إن العديد من خصائص الماء، والتي تجعل منه سائلاً عجيباً فريدا، تكمن في طبيعة ونوعية الروابط الهيدروجينية بين جزيئاته.

إن شبكة الروابط هذه هي السبب في وجود الماء كسائل على الأرض بين صفر و١٠٠ درجة مئوية، وهي السبب الذي بفضله يمكن للماء أن

يوجد في الحالات الثلاث للمادة في درجات الحرارة الأرضية، وهي تراوح بين -٩٠ درجة مئوية (في القطب الجنوبي) و ٥٠ درجة مئوية (في الصحراء).

فهذه الشبكة توفر التماسك المسؤول عن رفع درجة حرارة انصهار الماء ودرجة حرارة غليانه إلى مستويات أعلى بكثير مما هو الحال بالنسبة للمواد الجزيئية الخفيفة الأخرى المماثلة.

ولشرح ذلك نقول باختصار شديد ودون دخول في التفاصيل: إن جزيء الماء يمتلك بنية على شكل حرف V (انظر الشكل ٧-١ أدناه، حيث الكرات الداكنة هي ذرات الأوكسجين في رأس الشكل V والكرات البيضاء الصغيرة هي ذرات الهيدروجين في الطرفين)، وتتصل جزيئات الماء بعضها ببعض لتكوين الماء السائل عن طريق ترابط كل ذرة أوكسيجين من جزيء الماء، مع ذرتي هيدروجين من الجزيء المجاور.



فنحن نعلم أن ذرة الأوكسيجين شحنتها سالبة (-٢)، وأن ذرة الهيدروجين شحنتها موجبة (+١)، وهكذا تتصل الجزيئات بعضها ببعض لتكوّن لنا هذا السائل العجيب الفريد، فريد في لزوجته وتماسكه، وفي درجات غليانه وتجمده، ولا يوجد أي سائل آخر في الطبيعة يتميز بتماسك الماء مع وجود الصفات الأخرى (اللزوجة ودرجات الغليان والتجمد وغير ذلك من الصفات) في قيمها المعروفة في درجات حرارة الحياة على الأرض، والأمر العجيب المدهش، أن قواعد الكيمياء تخبرنا بأن مركباً يتكون من ذرات خفيفة مثل ذرات الماء، لا يمكن أن يتوفر في مجال درجات الحرارة على كوكبنا إلا على شكل غاز فقط، ولكن الماء يشذ عن قواعد الكيمياء، ويتوفر بالأشكال الثلاثة: السائل والغازي والصلب، في مجال درجات الحرارة الموجودة على سطح الأرض، وهذا توافق عجيب لا بد منه لقيام الحياة، إذ إن مجال حرارة سطح الأرض هو المجال المناسب للعمليات البيوكيميائية والحيوية، وهو المجال نفسه الذي يتوفر فيه الماء بحالاته الثلاث، وبصفاته التي مررنا عليها في هذا الكتاب، والتي رأينا أن العمليات البيوكيميائية والحيوية لا تقوم إلا بها.

والسر فيما يمكن أن نسميه شذوذ سلوك الماء عن غيره من المركبات، وتوفره في الحالات الثلاث: الغازية والسائلة والصلبة رغم أن وزنه الذري خفيف نسبياً، يكمن في الروابط الهيدروجينية المتينة التي شرحناها آنفاً، والتي تجعل منه سائلاً متماسكاً قوياً، بسبب وجود أربع روابط هيدروجينية، تربط جزيء الماء بما حوله من جزيئات، لتشكل ذلك السائل الفريد في تماسكه.

إن شبكة الروابط الهيدروجينية التي تجعل من الماء سائلا فريدا في تماسكه

صفاته، ليست مسؤولة فقط عما ذكرناه حتى الآن في هذا الكتاب من صفات الماء الفريدة التي لا تقوم الحياة بدونها، ولكن عن صفات أخرى عديدة، وقد ذكر موقع جامعة لندن ساوث بانك على موقعه على الشبكة العالمية ٧٣ خاصية فريدة مدهشة للمياه، نذكر منها هنا ١٢ خاصية ذات أهمية عظيمة لقيام الحياة على الأرض:

(١) ثابت العزل الكهربائي العالي، وقدرته العالية على الإذابة، وخاصة للمُركبات المشحونة أو القطبية.

(٢) انخفاض كثافته عند تجمده.

(٣) كثافته القصوى تكون عند ٤ درجات مئوية في المياه العذبة.

(٤) كثافته القصوى تكون عند – ١.٨ درجة مئوية في مياه البحر المالحة.

(٥) السعة الحرارية العالية.

(٦) الحرارة الكامنة العالية عند التبخر.

مكتبة
t.me/t_pdf

(٧) الحرارة الكامنة العالية عند التجمد.

(٨) التوتر السطحي العالي.

(٩) القوة الكارهة للماء ودورها في تجميع وعدم إذابة المواد غير القطبية.

(١٠) لزوجته منخفضة.

(١١) قدرته على تدفق البروتونات خلاله، أو بتعبير آخر، على عمل "أسلاك المياه".

(١٢) ناقليته عالية نسبيا للحرارة كسائل مقارنة بغيره من السوائل.

الكثير من هذه الخصائص التي ذكرها موقع جامعة لندن ساوث بانك[١] قد ناقشها علماء مثل Henderson, Edsall, Needham, Ball.[٢]

إن معظم المزايا السابقة يمكن إرجاعها إلى الروابط الهيدروجينية القوية بين جزيئات الماء كما قلنا، وبالرغم من أن الماء لا يزال من أقل السوائل فهمًا بالنسبة للعلماء، وأن الدراسات حوله لا تتوقف، وأن كيفية مساهمة الروابط بين جزيئاته في بعض هذه الخصائص الفريدة ما زالت تثير الجدل بين العلماء، غير أنه بغض النظر عن سببها النهائي أو تفسيرها النهائي، فإن هذه الخصائص الغريبة هي حقيقة تجريبية، ومن الواضح أنها تناسب الحياة على الأرض.

المذيب المثالي

تحتاج الحياة القائمة أو الحياة على أرضنا إلى وسط سائل تستطيع الخلايا الحية أن تقوم فيه بكل ما يلزمها من تفاعلات كيميائية وعمليات حيوية، على أن يكون هذا السائل ممتلكا لصفات خاصة جدا ومميزة ومتوفرة ضمن مجال درجات الحرارة الطبيعية على سطح الأرض، والماء وحده هو الذي يلبي هذه المتطلبات.

---

(١) For a complete list of all the anomalous properties of water see Martin Chaplin, "Anomalous properties of water," Water Structure and Science, March 28, 2017 (accessed March 31, 2017) : http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_anomalies.html

(٢) Henderson; John T. Edsall, Biophysical Chemistry: Thermodynamics, Electrostatics, and the Biological Significance of the Properties of Matter (New York: Academic Press, 1958); Needham; Philip Ball, H2O: A Biography of Water (London: Weidenfeld and Nicolson, 1999).

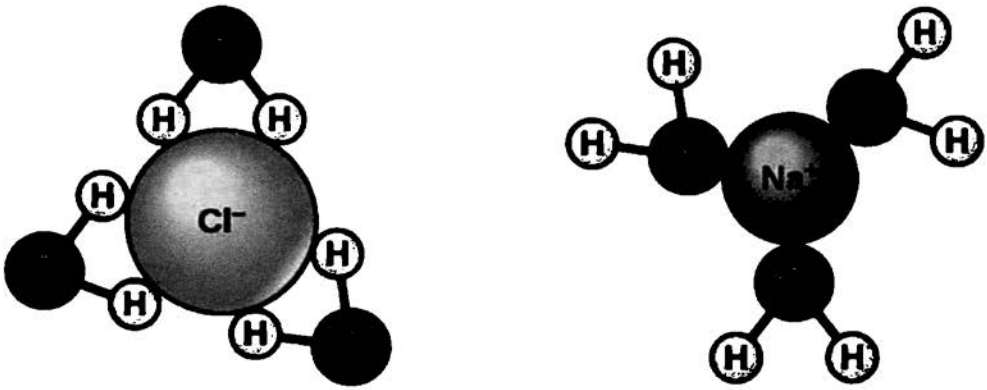
فقبل كل شيء، يحتاج السائل إلى أن يكون مذيبًا جيدًا، قادرًا على حمل مجموعة واسعة من الأيونات والمواد الكيميائية اللازمة لكي تعمل الخلية، والماء هو السائل المثالي لتحقيق ذلك.

يُجمع العلماء على أن الماء هو مذيب استثنائي لا يجاريه أي مذيب آخر، وعلى أن معظم المركبات الكيميائية المعروفة إن لم يكن جميعها، يمكن إذابتها في الماء ولو بكميات ضئيلة، وبتعبير آخر، فإن الماء يمكن أن يتفاعل مع أي شيء تقريباً، وهذا يجعله من أكثر المواد الكيميائية المعروفة التي تؤدي إلى تآكل المواد الأخرى عندما تتفاعل معها، ولا سيما المعادن، ولا يوجد أي سائل آخر يضاهي الماء في قدرته على التفاعل مع غيره من العناصر.

يستطيع الماء أن يذيب معظم المركبات العضوية، وكما نعلم فالماء موجود في الدم، وفي العصارات النباتية، وفي جميع الأوساط السائلة في الخلايا الحية، بل يستطيع أن يذيب معظم البروتينات، أما المركبات التي لا تذوب في الماء فهي قلة قليلة من الجزيئات العضوية الضخمة، مثل جزيئات القطن أو السيليلوز.

ومن مزايا الماء المدهشة، أن ذرات الأوكسيجين ذات الشحنة الكهربائية السالبة، يمكن أن تشكل روابط قطبية مع الذرات ذات الشحنة الموجبة، كالصوديوم مثلاً +Na، في حين أن ذرات الهيدروجين ذات الشحنة الموجبة، تشكل روابط قطبية مع الذرات ذات الشحنة السالبة، مثل الكلور -Cl، وبسبب هذه الروابط القطبية، فإن ما يحدث عند إذابة أي مركب في الماء، هو تفاعل ذرات الجسم المذاب مع ذرات الماء، وتشكيل روابط قطبية تؤدي في النهاية إلى نشوء مجال ثلاثي الأبعاد حول كل ذرة من المادة المذابة، وهو ما يعرف باسم (الغلاف المائي)، كما في الشكل (٧-٢) الذي يبين

الغلاف المائي الذي يتشكل حول ذرة الكلور، والغلاف المائي الذي يتشكل حول ذرة الصوديوم، وهذه الأغلفة المائية تضمن انتشار المادة المذابة بشكل متساوٍ في الوسط المائي، وتمنع انفصالها عن الماء وترسبها فيه، وعلى المنوال نفسه يعتبر الماء مذيباً فعالاً لجزيئات المواد الحيوية مثل جزيئات DNA والبروتينات.



الشكل ٧.٢ الماء يغلف ذرات المواد المذابة فيه

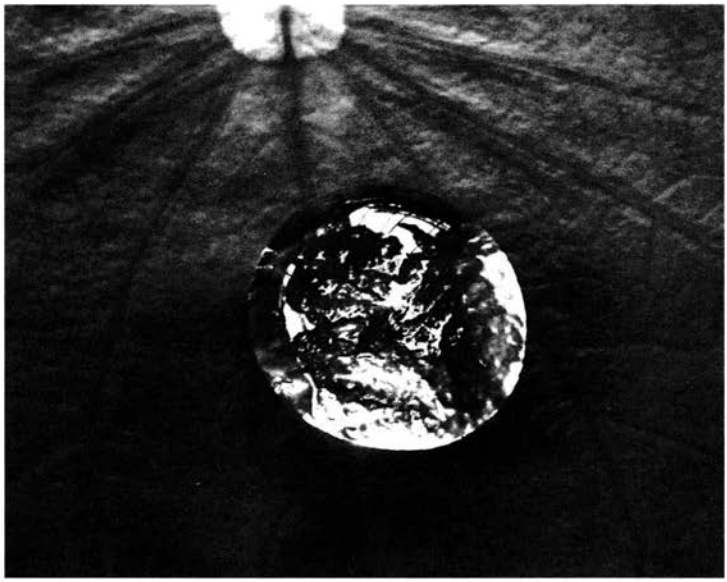
القوة الكارهة للماء

هناك استثناء واحد لمقدرة الماء على الإذابة، ولكنه استثناء يعزز صلاحية الماء كعنصر أساسي للحياة بدلاً من تقويضها، وشرح هذا الاستثناء يحتاج لبعض التفصيل.

من المعروف أن الماء والزيت لا يختلطان، فإذا صببنا الزيت على الماء، سنرى طبقة منفصلة على السطح، وذلك لأن الزيوت تتكون من سلاسل هيدروكربونية طويلة تتوزع إلكتروناتها بالتساوي على ذرات الكربون

والهيدروجين، فلا يكون هناك أي مناطق سالبة الشحنة أو موجبة الشحنة في تلك السلاسل، وقد رأينا أن وجود هذه الشحنات ضروري ليذوب المركب في الماء، فهذه الشحنات هي التي تكوّن روابط مشتركة مع الشحنات الموجودة في ذرات الماء فيذوب المركب فيه.

إن المركبات المشابهة للزيوت، والحاوية على سلاسل هيدروكربونية طويلة غير حاملة لشحنات كهربية، يسميها العلماء (المركبات الكارهة للماء)، لأنها حين خلطها بالماء لا تذوب فيه، بل تشكل كتلاً أو طبقات كارهة للماء تبقى منفصلة عنه، كما يحدث تماماً عند محاولة إذابة الزيت بالماء.



الشكل ٧-٣ قطرة ماء متكورة على ورقة شجر بسبب القوة الكارهة للماء

إن القوة الكارهة للماء التي تتمتع بها تلك المركبات، مسؤولة عن العديد من العمليات الحيوية الهامة في الخلايا الحية، من أهمها أنها تساعد جزيئات

البروتينات الضخمة على التشكل بأشكال مطوية مضغوطة داخل الخلايا، بعد عمليات كيميائية معقدة ما كان لها أن تجري لولا القوة الكارهة للماء التي تتمتع بها جزيئات البروتين، والبروتينات كما نعلم هي سلاسل هيدروكربونية معقدة وطويلة، والفضل في الشكل النهائي الذي يأخذه جزيء البروتين يعود إلى القوة الكارهة للماء التي تمنع إذابته في الماء وتجبر الأحماض الأمينية المكونة له على أن تتجمع على بعضها.

وهكذا نجد أن امتناع الماء، وهو أفضل المذيبات في الطبيعة، عن إذابة السلاسل الهيدروكربونية الطويلة كالزيوت والبروتينات، هو مزية إضافية في الماء وليست عيباً، وهي ميزة لا تقل في أهميتها عن ميزته كمذيب مدهش فعّال لبقية العناصر والمركبات، وهاتان الميزتان مجتمعتان تجعلان الماء بحق، هو المسؤول الأول عن الهندسة الحيوية لبنية الخلايا الحية.

ومن الملاحظات المثيرة لاهتمام، أنه كلما تقدم العلم، كلما اكتشف العلماء المزيد من المزايا والخصائص المدهشة للماء، والتي تجعله السائل الفريد الذي لا يمكن أن تقوم حياة إلا به، على سبيل المثال، عندما ألف العالم الشهير لورنس هندرسون كتابه الشهير في القرن الماضي (ملاءمة البيئة The fitness of the enveronmet)، وذكر فيه العديد من صفات الماء اللازمة للحياة، لم يتطرق إلى دور القوة الكارهة للماء في تكوين البروتينات وفي هندسة الخلايا الحية، لأن دور تلك القوة لم يكن مفهوماً آنذاك.

اللزوجة

كما رأينا في الفصل الأول، فإن لزوجة المواد سواء كانت صلبة أو سائلة أو غازية، تتفاوت بشكل كبير من عنصر لآخر، وتزيد لزوجة بعضها

أكثر من عشرين ضعفا عن أقلها لزوجة، وهذا مجال واسع جداً، وضمن هذا المجال كان على الماء أن يتمتع بلزوجة مثالية تجعله قابلاً للقيام بوظائف الحياة المطلوبة منه، منها مثلاً، أن يكون السائل المثالي للدورة الدموية، والسائل المثالي لعملية الحت والتعرية، والسائل المثالي لتوليد التيارات المائية في المحيطات والبحار، وقد رأينا أنه يحقق كل ذلك في الفصول السابقة، وفي هذا الفصل نرى أيضاً أن لزوجته مثالية ليكون مناسباً لمجموعة المزايا اللازمة للعمليات الفيزيولوجية والبيولوجية اللازمة للخلية الحية.

فمثلاً، لو أن لزوجة الماء كانت أقل مما هي عليه، وقريبة من لزوجة الغازات، فستخضع البنية الخلوية الدقيقة للخلية لما يسمى (الحركة البراونية Brownian movement)[1] باستمرار، لأن حركة الذرات في السوائل تتناسب تناسباً عكسياً مع لزوجة السائل، وستكون الخلايا عندئذ غير مستقرة، أو بتعبير آخر وباختصار، لا يمكن للزوجة الماء أن تكون أقل مما هي عليه بكثير وإلا لن يكون لدينا خلايا حية مستقرة.

وبالمقابل، فإن لزوجة الماء لو كانت أعلى مما هي عليه، لما أمكن للماء أن يكون مناسباً للقيام بدوره في خدمة الخلايا الحية، فقد رأينا في الفصل السابق أن معدل وسرعة انتشار المواد المذابة في الماء يتناسب عكساً مع لزوجته، ورأينا أيضاً أن تصميم مقاس أقطار العروق والشعيرات الدموية، بل وحتى حجم الخلايا، محكوم بمعدل الانتشار، والتي تتعلق باللزوجة، وهكذا فإن زيادة لزوجة الماء عن قيمها الحالية ستؤدي إلى قيود شديدة على حجم الخلايا الحية وعلى عمليات الأيض.

---

(١) هي ظاهرة تسبب حركة عشوائية للجزيئات والذرات الموجودة في السوائل، لأن حركتها تتناسب عكسياً مع لزوجة السائل، وسميت باسم مكتشف هذه الظاهرة وهو العالم الاسكتلندي روبرت بروان Robert Brown. [المترجم]

بالإضافة إلى ما رأيناه في الفصل السابق، فإن لزوجة الماء لو كانت أعلى، فإن ذلك سيحدّ بشدة حركة وانتشار الجزيئات في السوائل الخلوية، وهي حركة لا غنى عنها للقيام ببعض العمليات الحيوية، كانقسام الخلايا على سبيل المثال، كما أن حركة الجزيئات والخلايا في المرحلة الجنينية للكائنات العليا، تعتمد بشكل كبير على لزوجة الماء، ولو كانت لزوجة الماء أعلى لما أمكن حصول نمو الأجنة في الكائنات العليا، كالثدييّات، ومنها الإنسان بالطبع، ولما كانت تلك الكائنات ممكنة الوجود.

الخلاصة باختصار، إن كل الأدلة والمؤشرات، تدل على أن لزوجة الماء لا ينبغي لها أن تكون أعلى بكثير، ولا أقل بكثير، وذلك لتتمكن الخلايا الحية من البقاء، وأن قيمة اللزوجة المعروفة للماء هي القيمة المناسبة تماما لحياة الخلايا الحية.

أسلاك البروتونات

هناك أمر مدهش آخر في بنية جزيئات الماء، وهو الدور الذي تقوم به شبكة الروابط الهيدروجينية المكونة لتلك الجزيئات في توليد الطاقة في الخلايا الحية ونقل تلك الطاقة، ذلك لأن هذه الروابط الهيدروجينية تكوّن ما يسميه العلماء (الأسلاك المائية)، وهذه الأسلاك تسمح للطاقة التي تحملها البروتونات بالانتقال عبرها دون أن تضطر البروتونات نفسها للحركة ضمن جزيئات الماء، وهذه ميزة لا توجد إلا في سائل الماء لأنه وحده الذي يحتوي على هذا النوع من الروابط الهيدروجينية.

إن الخلايا الحية تعمل على تزويد نفسها بالطاقة عن طريق تدفق

البروتونات، الموجودة في ذرات الهيدروجين المشحونة إيجابياً، فتشكل ما يشبه تياراً كهربائياً، والطاقة التي تقوم بضخ البروتونات تتولد من حرق الغذاء داخل الخلية، ويتم الضخ عبر الأنسجة الحية، وتخزين تلك البروتونات مع ما تحمله من طاقة ليتم استخدامها لاحقاً في العمليات الحيوية التي تحتاجها الخلية.

لقد تم اكتشاف هذه الطريقة في تخزين ونقل الطاقة من جهة العالم الشهير بيتر ميتشل Peter Michell، وهو واحد من أهم العلماء في مجاله في القرن العشرين، وقد افترض وجود هذه الطريقة في التخزين والنقل عام ١٩٦١م ثم أمضى ثلاثة عقود من الأبحاث حتى تمكن من إثبات هذه الفرضية. ويعتبر العلماء أن هذا المفهوم هو الفكرة الوحيدة التي تُقارن بأفكار أينشتاين وهايزنبرغ وشرودنجر في الفيزياء.

ومع تقدم العلم الحديث، أصبحنا نعلم اليوم أيضًا أن استخدام البروتونات في تخزين ونقل الطاقة هو أمر شامل عام عبر الحياة على الأرض، وأن قوة البروتون جزء لا يتجزأ من كل أشكال الحياة مثلها مثل الشفرة الجينية.

إنه لأمر مدهش أن استخدام تدفق البروتون عبر الأغشية لتوليد الطاقة يعتمد على خاصيتين فريدتين للماء، الأولى هي القوة الكارهة للماء، والتي تساهم في بناء وتجمع الأغشية، والثانية هي تدفق البروتون عبر تلك الأغشية نفسها بواسطة الأسلاك المائية.

يمكن للمياه فقط تجميع الأغشية ويمكن للمياه فقط توفير الأسلاك المائية لنقل البروتونات. فالماء إذن يساهم بهاتين الميزتين المستقلتين في نقل وتخزين الطاقة الحيوية في الخلايا.

وهكذا نرى مرة أخرى، كيف تساهم ملاءمة الماء للحياة، بالطريقة التفصيلية التي تتوافق فيها الخصائص الجزيئية للماء مع الآليات الجزيئية للطاقة الحيوية.

حزمة المزايا الفعالة

لقد رأينا فيما سبق أن الماء هو السائل السحري المناسب تماماً لكل عمليات علم وظائف الأعضاء الخلوية والكيمياء الحيوية ولأسباب عديدة: منها أنه يبقى سائلًا في نطاق درجة الحرارة الأرضية، وله قوة إذابة كبيرة لجميع المركبات المشحونة والقطبية، ولزوجته وكثافته هما المناسبتان تماماً لتلك العمليات، وغير ذلك من الخصائص المدهشة.

غير أن دور الماء لا يقتصر على ما تقوم به تلك الحزمة من خصائصه الذاتية، بل يقوم بأدوار أخرى بالغة الأهمية، ومعروفة جيداً للعلماء في العمليات الخلوية النشطة، منها مثلاً دوره في طي جزيئات البروتين، ودوره في تكوين وتجميع أنسجة الخلايا، ودوره في توفير تدفقات البروتونات التي يكون فيها الماء اللاعب الرئيسي في الطاقة الحيوية، من الواضح إذن أن اللاعب النشط في علم وظائف الأعضاء الخلوية هو ما تصوره العالم (زينت جورجي) Szent Györgyi عندما قال: "**الحياة هي الماء، وهي ترقص على نغمات المواد الصلبة**".[١]

ويؤيد العالم (فيليب بيل) ما ذهب إليه العالم زينت جورجي حيث كتب يقول: "**لقد أصبح واضحًا بشكل متزايد خلال العقدين الماضيين أن الماء**

---

(١) Albert Szent-Györgyi, The Living State: With Observations on Cancer (New York: Academic Press, 1972), 9.

ليس مجرد سائل مذيب ينفع الخلايا، ولكنه في الواقع ينخرط في تفاعلات نشيطة في الجزيئات الحيوية بطرق معقدة ودقيقة وأساسية ولا غنى عنها للحياة".[١]

ويمضي فيليب بيل في بيان أهمية الماء في العمليات، وفي بنية الحمض النووي فيقول: **"غالبًا ما يتم التغاضي عن أن التركيب الحلزوني المزدوج للحمض النووي DNA يعتمد على توازن دقيق لإسهامات الطاقة الموجودة في المحلول المائي. ذلك أنه بدون الماء الذي يقوم بضبط التنافر الإلكتروستاتيكي بين مجموعات الفوسفات المكونة للحمض النووي، لن تكون البنية الحلزونية المنظمة للحمض النووي قابلة للتشكل".**[٢]

ويستنتج (بيل) الأهمية الجوهرية للماء بعد أن يعدد الأدوار التي يلعبها الماء في احتضانه للعمليات البيوكيميائية، فيضيف قائلاً:

"إن الماء يحافظ على التركيب الجزيئي للبروتينات، ويقوم بدور الوسيط بينها، ويقوم بتفعيل الدور الديناميكي الذي تلعبه البروتينات في بنية الخلايا الحية، ويوفر قناة اتصال ثنائية الاتجاه عبر الأغشية والأنسجة في الخلايا، ويوفر أيضاً قناة اتصال ما بين داخل جزيئات البروتينات وخارجها. ويبدو أن العديد من هذه الخصائص تعتمد، بشكل أو بآخر على السمات "الخاصة" لجزيء الماء H_2O، ولا سيما قدرته على الترابط بطريقة تتيح له إعادة توجيه وإعادة تشكيل بنية الماء ثلاثية الأبعاد.

وعلى الرغم من أنه يبدو من المحتمل تمامًا أن بعض وظائف الماء في

---

(١) Philip Ball, "Water as an Active Constituent in Cell Biology," Chemical Reviews 108, no. 1 (2008).

(٢) Ibid.

علم الأحياء هي وظائف مذيب قطبي عام، فمن الصعب جدًا تخيل أي مذيب آخر يمكنه أداء جميع أدواره في العمليات الحيوية في الخلايا الحية، ولا سيما تلك التي لها علاقة بالبروتينات، علما بأن البروتينات المطوية قد تحتفظ ببعض وظائفها عند انتقالها من وسط مائي إلى وسط غير مائي، ولكن هذا لا يغير ولا ينتقص من مركزية الماء للحياة على الأرض.

فالماء إذن يلعب دورين متوازيين في بيولوجيا الخلايا الحية: دور المذيب، ودور الوسط المناسب والعنصر الفعال اللازم لتفعيل العمليات الجزيئية في الخلية، هناك تبادل ثنائي الاتجاه للسلوكيات بين هذين الدورين، وهذا حرفيا يمحو أي خط فاصل بين "المكونات البيولوجية" وبيئتها".[1]

ويؤكد العلماء أن طريقة توضُّع الماء داخل الخلايا يكون ترتيبه مختلفاً بشكل كبير عن الماء في الطبيعة، ولا يعمل كمذيب خامل فحسب، ولكن أيضاً كلاعب نشيط في العمليات البيولوجية، إن فهم ترتيب المياه في الأنظمة البيولوجية هو المفتاح لفهم عمليات الحياة.

خصائص مدهشة... والبقية تأتي

لقد كشف التقدم العلمي على مدى القرنين الماضيين النقاب عن المزيد من الخصائص التي تجعل الماء هو السائل الفريد المناسب للحياة، والبحوث ما زالت مستمرة، ومن المرجح أن تؤدي إلى مزيد من الاكتشافات في هذا السياق، ولا سيما فيما يخص دور الماء داخل الخلايا الحية، وكونه السائل

---

(١) Ibid.

المثالي والوحيد المناسب للعمليات الحيوية داخل الخلايا، أي لنشوء واستمرار الحياة، ورغم البحوث المكثفة حول دور الماء في الخلية الحية، ورغم توصل العلم إلى حقائق مدهشة حول هذه الأمر، فإن بنية المياه داخل الخلايا لا تزال أقل فهمًا من جيوفيزياء المريخ ! وهي حاليا موضوع نقاش مستمر في الأوساط العلمية.

ويتوقع العلماء أن تكشف البحوث المستقبلية عن أن دور الماء داخل الخلايا الحية هو أكبر بكثير من مجرد سائل يتمتع بصفات فريدة، رغم أن هذه الصفات وحدها تكفي لجعله السائل الأمثل للخلايا وللحياة، ولكن يتوقع العلماء اكتشاف الكثير من الأمور التي ما زالت غامضة حول دور الماء في الحياة الخلوية، مثل توضُّع جزيئاته داخل الخلايا، والذي يختلف عن طريقة توضُّع جزيئات الماء في الطبيعة أي خارج الخلايا، ومثل ترتيبه في طبقات تمتد لمسافات كبيرة نسبيا داخل الخلايا، وغير ذلك من الأمور، حيث يتوقع العلماء أن تؤدي البحوث حولها إلى إلقاء المزيد من الضوء على الأدوار الجوهرية التي يقوم به الماء في الخلايا الحية، أي في دوران عجلة الحياة واستمرارها.

مكتبة
t.me/t_pdf

الفصل الثامن

خاتمة

هل يمكن للمرء أن يتصور أن مادة ما لها هدف عميق، وتخدم مثل هذا التنوع في الغايات الحيوية؟ هل هناك مادة أخرى تتصف بمثل صفات الماء، أو حتى تقترب منها؟ أليست حكاية الماء أشبه بقصص الخيال العلمي؟

هل كان يمكن لأحد أن يتصور حتى في الروايات الخيالية أن هذه المادة البسيطة، وهي أحد أبسط إبداعات الطبيعة، والتي تتكون من ثلاث ذرات فقط – اثنتان من الهيدروجين وواحدة من الأوكسجين – والتي لا يزيد حجم الجزيء منها عن عشرة أجزاء من المليون من المليمتر، يمكن أن يحتوي على هذه الخصائص التصميمية المذهلة المدهشة؟

إن هذه الذرات السحرية الثلاث، تحتوي في طياتها على عدد ضخم من المزايا التي لا يضاهيها أي عنصر في الطبيعة، بل لا تضاهيها أي آلة أو تحفة فنية صنعتها يد الإنسان.

لا توجد كلمات يمكن أن تعبر عن أعاجيب الأغراض المتنوعة، والوظائف الحيوية المخبوءة في مثل هذه الجزيئة الصغيرة من المادة، جزيئة الماء. فالماء هو نسيج الخلية، ودم الأرض، وصانع الجبال، وداعم الحياة.

إذا أخذنا بعين الاعتبار أن الهيدروجين والأوكسجين هما اثنان من العناصر الثلاثة الأكثر وفرة في الكون، فسيظهر لنا بوضوح أن صناعة الماء كانت أمراً مدبراً ومعداً قبل ظهور الحياة، لتظهر الحياة بعد ذلك في الكون من خلال السحر الفريد للماء.

هـذا الـسائل الرائـع ذو الـصفات الخارقـة، مناسـب للحيـاة علـى الأرض بعدد مذهل للغاية من الطرق...

فهو مناسب لتكوين الكواكب، ولتشكيل المحيطات، وللمحافظة عليها لاحقًا.

وهـو مناسـب بـشكل فريـد للـدورة المائيـة في الأرض، وللـدورة التكتونيـة، ولتنظيم درجة حرارة جسم الإنسان.

كما تلعب خصائص الماء دورًا مهمًا في تكوين التيارات المحيطية العظيمة التي تنقل العناصر الغذائية الأساسية في جميع أنحاء محيطات العالم، والتي تلعب أيضاً دورًا رئيساً في تنظيم درجة الحرارة على سطح الأرض، والاعتدال فيها، وفي التحكم في مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

والمـاء مناسـب بـشكل رائـع وفريـد لإذابـة المعـادن في الـصخور، وقدراتـه الكبيرة على الإذابة مناسبة لنقل وتداول العناصر الغذائية في الدورة الدموية للكائنات ذوات الدم الحار، وفي المحيطات.

إن الخواص الحرارية الفريدة للماء مثل تمدده عند التجمد، تحافظ على المسطحات المائية الكبيرة في خطوط العرض العليا.

والماء مناسب تماماً لتوليد وحفظ ونقل الطاقة الحيوية في الخلايا الحية من خلال توفير تدفقات البروتونات التي تلعب دورًا فريدًا وحاسمًا في توليد الطاقة الخلوية.

كما أن شفافية الماء للضوء مناسبة تماماً لعملية التركيب الضوئي، والتي ما كانت الحياة لتكون بدونها، والماء ليس فقط مصدراً للأوكسيجين، ولكنه أيضًا مناسب بشكل فريد لاستخدامه في الجهاز التنفسي للإنسان، وبخار

الماء المنتشر في الهواء من حولنا مناسب تماماً للسماح لأشعة الشمس باختراق الغلاف الجوي وإضاءة الأرض بصحاريها وغاباتها، وخصائص الماء في التبريد بالتبخر تساهم في مساعدة البشر على تبريد أجسامهم عند بذلهم لمجهودات عضلية عنيفة، مثل تلك التي يبذلها الصيادون في مطاردة فريستهم في المناطق الاستوائية.

فأينما نظرت تجد سحر الماء الواهب للحياة، سواء نظرت في السماء والكواكب والمجرات، أو نظرت في الأرض والتراب والذرات.

وبفضل لزوجة الماء تلتصق الجزيئات الجليدية للغبار الكوني معًا، فيكون ذلك سبباً في تكوين الكواكب الصغيرة، وبسبب التوتر السطحي للماء وخواصه الشعرية، يصعد الماء إلى أعلى الأشجار من خلال جذورها وسيقانها، فيكون ذلك سبباً في وجود مادة الخشب، ومن بعدها سبباً لوجود النار، ومن ثم سبباً لكل عمليات التعدين وصناعات المعادن.

وكما تعمل خصائص الماء في مجالات مكانية تمتد من المجرات والكواكب إلى الخلايا والذرات، فإنها تعمل في مجالات زمنية تمتد من مليارات السنين إلى الفيمتو ثانية.

فخصائص الماء عملت في مجالات زمنية امتدت مليارات السنين في الحفاظ على المحيطات والبحار، وفي مجال الساعات والأيام عند تبريد جسم الإنسان بالتعرق، أو تبريد الماء في حوض سباحة، وتعمل في مجال الفيمتو ثانية أثناء تدفق البروتونات لنقل وحفظ الطاقة في الخلايا الحية، هذا وإن دور الماء في توفير تدفق البروتينات، يدل على أنه ليس فقط ساهم في تشكل الكواكب، ومنها كوكبنا الصالح لنشأة الحياة، بل هو أيضا قد ساهم في نشوء الحياة نفسها، إن ملاءمة الماء للحياة تبدو وكأنها لا حدود لها.

وتستمر الدهشة بعد الدهشة من هذا السائل العجيب، فها هو الماء يقوم بما تتطلبه الحياة من الأغراض بلا مقابل، ويقدم لنا فناً منقطع النظير في أشكال لا حصر لها، من ندفة الثلج في جبال الألب، إلى الأمواج الشتوية التي تهطل على بعض شواطئ هاواي.

إن روعة وجمال وأهمية الماء نجدها في المحيط الواسع، وفي قطرة مطر واحدة.

وكما رأينا في فصول هذا الكتاب، فإن عجائب الماء لا تتجلى فقط فيما يقوم به من العمليات الواهبة للحياة، ولا في أنه يعمل في عدد لا يحصى من الأشكال والصيغ والأحوال المختلفة، ولكن عجائبه تتجلى كذلك في حقيقة مذهلة أخرى، وهي أن خصائص الماء الفريدة تتناسب مع العديد من الأدوار المختلفة جدًا.

وأكثر ما يدهشنا في سلوك الماء، أن نرى خصائص مختلفة من خصائصه تعمل معاً وبتناسق وتناغم عجيب لتحقق أهدافاً وغايات حيوية محددة.

ببساطة واختصار، لا يوجد في كل ما نعرفه من قصص وحكايا العلوم شبيه لحكاية الماء، إن وجود هذا العدد الهائل من الصفات الملائمة للحياة في ذاك الجزيء الصغير (المؤلف من ذرة أوكسيجين وذرتي هيدروجين) هو أمر لا يدانيه أي تصور في أكثر قصص الخيال العلمي غرابة وخيالاً.

هل نحن أمام تصميم؟

وهنا لا بد من أن يواجهنا سؤال هام حول الأمثلة الرائعة التي رأينا من خلالها كيف تعمل الخصائص المختلفة للمياه معًا لخدمة غاية حيوية، مثل

مجموعة الخصائص التي تؤدي إلى تآكل الصخور ونقل معادنها من الجبال إلى السهول لتخصيب التربة، أو مجموعة الخصائص الحرارية التي تؤدي إلى تنظيم وضبط درجات الحرارة وغير ذلك من الخصائص، والسؤال هو: هل وجود هذه الخصائص المدهشة في الماء نتيجة تصميم أم لا؟

إن كل جزء مميز، وكل خاصية منفردة، توحي بشكل كبير بوجود تصميم من ورائها، فما بالكم بالحالات التي تكون فيها خاصية حيوية واحدة للمياه أو مجموعة من الخصائص مفيدة فقط بسبب خاصية أخرى أو مجموعة أخرى من الخصائص؟ لقد رأينا العديد من هذه الأمثلة في الفصول السابقة، وقد أشرنا إليها وإلى ترابطها وتسلسلها المنطقي عندما تحدثنا عنها آنذاك.

لقد رأينا أن خصائص الماء يجب أن تكون أولاً مناسبة لتشغيل الدورة الدموية، قبل أن تقوم خصائص أخرى بدورها في ضبط وتنظيم درجة حرارة أجسام الكائنات ذات الدم الحار، ومنها الإنسان، ورأينا خصائص الماء التي تقوم بتوفير الماء للحياة البرية عن طريق حت الصخور ونقل المواد الغذائية منها للتربة، إذ لا بد أن يسبقها وجود خصائص أخرى وهي إمكانية توفر الماء في الحالات الثلاث: الصلبة والسائلة والغازية ضمن مجال درجات الحرارة الطبيعية على الأرض، ثم تتبعها خصائص أخرى تعتمد على ما سبق، وهي التوتر السطحي العالي للماء ولزوجته اللذان يسمحان للنباتات بامتصاص الماء وإيصاله إلى الأوراق، لتأتي خصائص أخرى للماء فتقوم بعملها لإنجاز عملية التركيب الضوئي، منها الخصائص الضوئية للماء وخاصية التبريد بالتبخر التي تحمي الأوراق من حرارة الشمس الحارقة.

ففي هذه العمليات المتسلسلة، يبدو لنا جلياً وكأن الماء يقوم بدور الوسيلة والغاية في الوقت نفسه، وبطريقة تتجاوز أي مسار تصميمي يعرفه

الإنسان. إنه أشبه بالملابس التي تقوم بتفصيل نفسها بنفسها، ثم تسليم نفسها إلى مركز التسوق، وأشبه بالبترول الذي يستخرج نفسه من باطن الأرض، ثم يقوم بتكرير نفسه ليصبح وقوداً، ثم يقوم بنفسه بملء خزانات محطات تزويد السيارات بالوقود، بل إن الماء يقوم بخطوات تتجاوز كونه وسيلة ليضيف إليها وظيفة من ينهي الأعمال ويصل بها إلى نهايتها المطلوبة والمناسبة بالضبط، ونفهم ذلك لو عدنا إلى مثال الألبسة وتخيلنا أن الألبسة لا تكتفي بإيصال نفسها إلى المتجر المناسب، بل تكون كمياتها ومقاساتها وألوانها حسب الطلب.

عند التأمل في هذه الميزات الفائقة للماء، وفي طريقة عملها المتضامنة المتسلسلة، يتضح بجلاء أن الماء وراءه تصميمٌ خارق مذهل، لا يمكن لأي تصميم بشري أن يقترب من إبداعه، وهذا يذكرنا بالقول الشهير لعالم الفلك المعروف (فريد هويل) Fred Hoyle: "**إن التفسير الفطري السليم للحقائق يشير بوضوح إلى أنه لا يوجد أي قوى عمياء تستحق الحديث عنها في الطبيعة**".[١]

ولا يمكن تجنب الحقيقة الناصعة بوجود تصميم وراء مزايا الماء بزعم وجود عيوب في ملاءمة الماء للحياة، على سبيل المثال، قد يزعم بعض المشككين أن الماء لا يصلح للحياة في درجة تقل عن صفر مئوية لأن الماء يتمدد عند التجمد فتقوم بلوراته بإتلاف بنية الخلية، وقد يزعم آخرون أن هناك مساحات شاسعة على سطح الأرض تكون تحت درجة التجمد خلال الشتاء فيصعب قيام الحياة فيها.

---

(١) F. Hoyle, "The Universe: Past and Present Reflections," Engineering and Science, November 1981. Available at: http://calteches.library.caltech.edu/527/2/Hoyle.pdf.

ولكن حتى لو افترضنا أن الماء يمتلك نقطة تجمد أقل بكثير، فمن الصعب جدًا تخيل كائنات حية في الوسط المتجمد تمتلك معدلات التمثيل الغذائي العالية التي تكمن وراء أنماط الحياة النشطة للكائنات الحية مثلنا، أي إن الماء حتى لو كان سائلاً عند درجات حرارة أقل من درجة صفر مئوية، فلن يكون مناسبًا للكائنات الحية ذوات الدم الحار مثلنا والتي تحافظ على درجات حرارة الجسم أعلى من الصفر.

بالإضافة إلى ذلك، فقد رأينا أن تمدد الماء عندما يتجمد، يقوم بدور هام جداً، وهو المحافظة على سيولة المحيطات تحت الطبقات الجليدية المتمددة، وهو ما يسمح بقيام وازدهار حياة مائية متنوعة في تلك المحيطات أسفل الطبقات الجليدية، كما أن تمدد الماء عند تجمده في مسامات الصخور، يؤدي إلى تفتت الصخور، ويلعب دورا لا غنى عنه في تآكلها، وهو التآكل الضروري واللازم من أجل توفير الخصوبة للسهول الزراعية، زد على ذلك، أن حرارة التجمد لو كانت أقل مما هي عليه لما أمكن تشكل الأنهار الجليدية التي تنزلق عند ذوبانها فتساعد أيضاً في عملية تآكل الجبال، وستفقد الأرض الفوائد الناتجة عن تشكل الأنهار الجليدية ثم ذوبانها.

كما أن الواقع يثبت أن الحياة على الأرض يمكن أن تقوم في درجات أقل من الصفر، ومن الشواهد على ذلك الدببة القطبية وطيور البطريق التي تنشط في الشتاء القطبي دون أن يكون انخفاض درجات الحرارة عائقاً لها، علاوة على ذلك، فإن العديد من الأنواع تعيش وتزدهر في درجات حرارة أقل بكثير من الصفر باستخدام مواد الحماية من التجمد.

إن الزعم بأن الماء غير مناسب تماماً لأنه لا يبقى سائلاً عندما تكون حرارته تحت الصفر، هو كمن يزعم أن السيارة غير مناسبة تماماً للاستخدام

لأنها لا تطير أو لا تستطيع الصعود على منحدر عمودي، فمن نافلة القول أن السيارة غير مصممة لذلك، كما أن الحياة التي نعرفها، لا يمكن أن تقوم في فوهة بركان نشط أو في مركز نجم ملتهب أو في أعماق الفضاء بين النجوم.

كما يزعم البعض أن سهولة تفاعل العناصر والمركبات الأخرى مع الماء هو من العيوب التي تعيق ملاءمة الماء للحياة، لأنه قد يؤدي إلى تفكيك وتحليل الماء لبعض العناصر العضوية، مثل الحمض النووي أو البروتينات، لذلك يستبعدون أن يكون للماء دور في نشأة الحياة.

ولكن هذا الزعم يواجه مشكلتين تكفيان لاستبعاده:

الأولى: أن فشل العلماء في معرفة أصل الحياة وكيفية نشأتها ليس بسبب عيوب في الماء، بل بسبب قصور في المعرفة البشرية، فكيف يحكمون على دور الماء في أمر لا يعرفون أصلا كيف حدث ؟! وعلاوة على ذلك فإن الأبحاث المتوفرة حتى اليوم تشير إلى أن الحياة الأولى قد نشأت على الأرض في وسط مائي، فإذا سلمنا بصحة هذه الأبحاث، فإن توفير عملية تدفق البروتينات التي أشرنا إليها في الفصل السابع، لا بد أن تكون لعبت دوراً هاماً في نشأة الحياة، وهي عملية خاصة بالماء لا تتم إلا بوجوده.

والثانية: أن سهولة تفاعل الماء مع العناصر الأخرى، هي التي تعطيه ميزات هامة جداً تجعله ملائما للحياة، منها على سبيل المثال القدرة على عملية حتِّ الصخور، والتي يؤدي إليها سهولة تفاعل الماء مع المكونات المعدنية للصخور، ومنها أيضاً دور الماء الهام في تدوير مكونات الخلية، أي في تكوين جزيئاتها الجديدة والتخلص من جزيئاتها التالفة، ولولا قدرة الماء على التفاعل مع غيره لما أمكنه المساهمة في تحلل البروتينات التالفة في الخلية

ومن ثم التخلص منها على شكل فضلات خلوية، ويؤكد علماء البيولوجيا أن دورة حياة البروتينات مهمة جداً في أي نظام حيوي يعيش في بيئة ديناميكية، وهكذا فإن عدم الاستقرار المائي للبروتينات في الماء هو المفتاح للحفاظ على الحياة.

كما أن قدرة الماء التفاعلية لا غنى عنها في تعزيز قدرة الجهاز المناعي، لأنه بسبب هذه القدرة يقوم الماء بدور هام في تنقية الخلية من الأحماض النووية التالفة، وتنقيتها من الجزيئات الخلوية الكبيرة الأخرى عندما تتلف وتحتاج الخلية للتخلص منها قبل استبدالها بجزيئات جديدة.

إن "العيوب" المفترضة للماء ليست إلا نتيجة حتمية لضبط خصائص ومزايا الماء لتكون ملائمة لمختلف الظروف والقيود التي قد يتعرض لها عندما يقوم بأدواره المتعددة في الطبيعة.

ولنضرب على ذلك أمثلة للتوضيح، إذا كنت تريد جهاز حاسوب محمول صغير الحجم سهل الحمل والنقل، فلا يمكنك أن تطلب شاشة بحجم ستين بوصة، واسعة وواضحة وجميلة مثل الشاشات الكبيرة، وإذا كنت ترغب في بناء شاحنة كبيرة يمكنها سحب قارب عملاق، فلا بد من التضحية باستخدام كمية غير اقتصادية من الوقود.

في المثالين السابقين، يتبين لنا أن المهندسين مقيدون بتوازن المنافع المرجوة من تصاميمهم، فهم يضحون بمساحة الشاشة في سبيل صغر حجم الحاسوب وسهولة نقله في المثال الأول، ويضحون باستهلاك كميات كبيرة من الوقود في سبيل زيادة قدرة الشاحنة على السحب في المثال الثاني، لكن هذه الحقائق لا تعني أن تصميم الحاسوب المحمول أو الشاحنة الضخمة هي تصاميم سيئة.

فإذا طبقنا هذا المبدأ على خصائص الماء التصميمية، نجد أن الماء يجب أن يكون ذا مزايا تفاعلية عالية ليتمكن من حت الصخور، وإن كانت هذه التفاعلية قد تؤدي إلى زيادة معدل تدوير الفضلات في الخلية.

وإذا كنت تريد أن تتمكن الأنهار الجليدية من طحن الصخور، فإن الماء يحتاج إلى أن يتجمد، على الرغم من أن التجمد قد يدمر النسيج الرقيق للخلايا المعرضة لدرجات حرارة أقل من الصفر.

إن الزعم بأن الماء ليس مضبوطًا جيدًا ليلائم متطلبات الحياة لأن الأقل تفاعلًا سيكون أفضل في بعض النواحي لأصل الحياة، لا معنى له عندما ننظر إلى الماء ومزاياه نظرة شاملة بعين هندسية تدرك القيود المطلوبة من مزاياه لتوازن المنافع المرجوة منه.

مكتبة
t.me/t_pdf

الملاءمة الفريدة للحياة

مهما كانت أعذار الرافضين للاستدلال على وجود تصميم خلف مزايا الماء وخصائصه، فإن الذي لا شك فيه، أن الماء مناسب بشكل فريد لقيام واستمرار الحياة على الأرض بشكل ملحوظ وبوضوح شديد لا تخطؤه عين عالم ولا دراسة باحث.

إن الأدلة العلمية التي لا لبس فيها تؤكد أنه لا شيء يمكن مقارنته بالمياه كوسط ملائم للحياة، وأن العلم لا يعرف سائلاً آخر يمكنه القيام بالأدوار التي يؤديها الماء في قيام الحياة واستمرارها، بل لا يوجد سائل آخر يتمتع بجزء صغير من مجموعة المزايا المناسبة للحياة التي يتمتع بها الماء، وهي كما رأينا في فصول هذا الكتاب، مجموعة مزايا تقوم بأدوار مختلفة في ظواهر

متعددة، مثل ذوبان الجليد، وتحريك التيارات المحيطية، وتبريد الجسم، والتركيب الضوئي، والوظائف الحيوية في الخلايا، وعمل الدورة الدموية، وغير ذلك مما رأيناه وبحثناه بالتفصيل في فصول هذا الكتاب.

إن الحقائق المثبتة حول دور الماء في الحياة هي بالتأكيد أغرب من الخيال.

وليس هذا كل شيء، إذ من شبه المؤكد أن هناك المزيد من خصائص ومزايا الماء لم تكتشف بعد، فقد بدأ الماء يلفت أنظار العلماء منذ أوائل القرن التاسع عشر كسائل مناسب للحياة، حيث اكتشف العلماء آنذاك بعض خصائص الماء الحرارية، ودوره في الذوبان والتجمد، ومنذ ذلك الحين إلى اليوم، تتوالى بلا توقف اكتشافات وظائف ومزايا جديدة للماء من حيث ملاءمته للحياة، ويضيف العلماء باستمرار مزايا جديدة تتعلق بدور الماء في قيام واستمرار الحياة على الأرض، ومع ذلك فإن العلماء يعتقدون أن ما نعرفه اليوم من مزايا وخصائص هذا السائل العجيب، سائل الحياة، هو جزء ضئيل من حكايته الكاملة، ولا يشكون في أنهم سيكتشفون المزيد من عجائب هذا السائل المذهل.

صحيح أن بعض خصائص الماء هي خصائص عامة لجميع السوائل، وأن بعض السوائل قد تتمتع ببعض خصائص الماء، ولكن لا يوجد أي سائل آخر تجتمع فيه كل خصائص الماء بهذه السعة والتفرد والتناغم والتناسق... فمثلاً، قد تكون سوائل مثل الإيثان والأمونيا مذيبات جيدة، ولكنها بالتأكيد لا تصلح لأن تكون السائل المناسب للدورة الدموية أو للقيام بالأدوار المدهشة التي يقوم بها الماء في بيولوجيا الخلايا الحية.

وبعد...

فها نحن قد أنهينا رحلتنا مع الماء، والتي بدأناها بالوقوف منبهرين أمام الشلالات، وتساءلنا عن علاقتنا الغريبة والمصيرية بتلك المياه المتساقطة.

وقد رأينا في هذا الكتاب، أن الماء يمنحنا الحياة، ليس فقط من خلال عمله على مدار الفصول الأربعة، وليس فقط في مزاياه الملائمة لتكوّن الوسط المناسب لدمائنا، ولكن بعدد لا يحصى من الطرق الإضافية.

إن الماء سائل متعدد المواهب، وما نراه من تضاريس في الوديان والجبال فيه بصمات من عمل الماء، فهو الذي يحرك الصفائح التكتونية، لتشكيل القشرة القارية وتجديدها، وهو الذي يشكل جدران الوديان عن طريق التجريف الجليدي، وما إلى ذلك.

علاوة على ذلك، فإن وجود الوديان وقدرتنا على النظر إلى جمالها يعتمدان على سلسلة حيوية من الميزات الخصائص التي تجتمع في الماء فتعمل معاً على دعم الحياة، وهي سلسلة تبدأ بصنع غبار النجوم وتمتد إلى طيّ البروتينات، إن هذه المجموعة من الصفات الملائمة للحياة، تكاد تمس تقريبًا كل جانب من جوانب النظام الطبيعي، وهو النظام الذي يرتبط وجودنا وصيرورتنا بنسيجه المحكم.

في خصائص الماء الفريدة، تتجلى وحدة الكون مع الكائنات الأرضية، حتى كأن تصميمنا البيولوجي هو هدف مركزي من أهدافه.

إن ملاءمة الطبيعة لحياتنا ولتصميمنا البيولوجي تتجلى أكثر ما تتجلى في خصائص الماء الفريدة، وهذا ما يؤكده العلم بشكل لا يقبل للشك، وهو اكتشاف علمي وجودي يتعلق بالطبيعة الأساسية للكون وعلاقته بحياتنا

الأرضية وتصميمنا البيولوجي.

إن الكشف عن أن قوانين الطبيعة - كما تتجلى في ملاءمة الماء للحياة على الأرض ولتصميمنا البيولوجي - قد تم ضبطها بشكل فريد من أجل وجودنا: هو أمر صحيح.. وذلك بغض النظر عما إذا كانت هناك حياة على الكواكب الأخرى أو على الأرض فقط، وصحيح.. حتى لو اعتبرت ملاءمة الماء غير كاملة، وصحيح.. حتى لو كانت بعض السوائل الأخرى تمتلك بعض الخصائص المشابهة لتلك الموجودة في الماء، وصحيح.. مهما كانت الطريقة والأسباب التي بسببها ظهرت الحياة على الأرض.

لقد كتب توماس هكسلي مقولته الشهيرة: "**إن (سؤال الأسئلة) الذي يواجه البشرية، يتعلق بالمسألة التي تكمن وراءها كل المسائل الأخرى، والتي هي أكثر إثارة للاهتمام من أي مسألة أخرى، ألا وهي التأكد من المكانة التي يحتلها الإنسان في الطبيعة وعلاقاته بعالم الأشياء**".[1]

لقد كان التركيز طوال هذا الكتاب على تقديم إجابة على "سؤال الأسئلة" الكبير لهكسلي.

ذلك أن ملاءمة الماء للحياة على الأرض ولتصميمنا البيولوجي توفر الإجابة النهائية على هذا السؤال.

لقد شهد الماء، وشهادته لا لبس فيها، على أن الحياة البشرية تحتل مكانًا فريدًا في النظام الطبيعي.

---

(١) T. H. Huxley, Evidence as to Man's Place in Nature (New York: D. Appleton and Co., 1863), 84.

الماء، بخصائصه ومزاياه التي لا مثيل لها، يُغني أغنية من الحياة على الأرض، أغنية من الحياة للوجود البشري، فقد تم ضبط خصائصه بدقة متناهية لتناسب حياتنا منذ لحظة الخلق، وملاءمتها العجيبة لوجودنا منقوشة منذ زمن بعيد في النظام الكوني، إنه سحر الماء يا سادة.

وبسحر الماء.. تم حقاً عكس مبدأ كوبرنيكوس ! [1]

مكتبة
t.me/t_pdf

(١) عندما أعلن كوبرنيكوس عن رؤيته للنظام الشمسي وأن الأرض كوكب كغيرها من الكواكب التي تدور حول الشمس، اتخذ البعض من ذلك دليلاً على أن الأرض ليست بتلك الأهمية التي ظنها الكثير من البشر بأنها مقصودة بالخلق أو ذات أهمية لخالق الكون، لكن مع ازدياد الاكتشافات العلمية من منتصف القرن الماضي إلى اليوم والأدلة تتضافر على أن ظهور كوكب الأرض بصفاته التي عليها والملائمة للحياة والبشر هو عمل فريد لا يمكن وجوده صدفة أو عشوائية.. بل ويعتمد على عدد ضخم جداً من الضبط الكوني الدقيق والثوابت التي لو اختلت لانعدم كل ذلك. [المترجم]

للاطلاع على إصدارات المركز والشراء من متجر دلائل الإلكتروني :

https://dalail.center

لمتابعة جديد المركز وأخباره وعروض المبيعات :

- تليجرام - تويتر : (@Dalailcentre).
- واتساب : (00966539150340).

تتوفر كتبنا أيضاً في :

- جرير: (www.jarir.com).
- دار مفكرون - مصر :

- فيسبوك: (@mofakroun) - تويتر: (@mofakroun).
- تواصل: (00201110117447).

- جملون: (www.jamalon.com).
- النيل والفرات: (www.neelwafurat.com).

THE PRIVILEGED SPECIES SERIES

عجائب الماء

« . . . . . وسنرى في هذا الكتاب من عجائب الماء الكثير، سنرى أن خصائصه الفريدة تعمل في مجالات مكانية وزمانية، تتراوح بين آلاف الكيلومترات وملايين السنين، نزولاً إلى النانو متر والفيمتو ثانية.

الغرض من هذا الكتاب هو سرد القصة غير المروية عن مجموعات مدهشة مذهلة الخصائص الفريدة والمتنوعة للماء، خصائص لا غنى عنها لكل أشكال الحياة على الأرض، وسنرى في الفصول القادمة أن هذه الخصائص العديدة تكشف عن وحدة مركزية حيوية فائقة في نسيج الطبيعة، وأن الحياة على الأرض - بما في ذلك الجنس البشري - ليست مجرد صدفة كونية.

إن الماء يُغنّي بسحره وعجائبه أنشودة عالمية للحياة على سطح الارض، ويُغنّي أنشودة أخرى خاصة للإنسان بميزاته الملائمة لعلم وظائف الأعضاء البشرية ».

مايكل دنتون

عالم استرالي في الكيمياء الحيوية والبيولوجيا الوراثية من مواليد 1943م، من أشهر أعماله كتاب (قدر الطبيعة) عام 1998م والذي يتحدث فيه عن انضباط قوانين الكون والأرض لظهور الحياة - لكن أشهر كتبه على الإطلاق كتاب (التطور نظرية في أزمة) عام 1985م والذي انتقد فيه الرؤية الداروينية والتطورية الصدفية لنشأة وتنوع الكائنات الحية، فكان كتابه صادما للأيدولوجيا العلمية والأكاديمية السائدة في ذلك الوقت، وكان ملهما لرواد حركة (التصميم الذكي) من بعده خاصة مايكل بيهي ، وقد صدر جزء ثاني من الكتاب عام 2016م، ثم كتابنا هذا عام 2017م.

المترجم : فداء ياسر الجندي ، مهندس مدني سوري من مواليد دمشق عام 1959م، مجاز في اللغة العربية ومختص في الترجمة والحاسوب والبرمجة، صدرت له عدة كتب وترجمات من أشهرها كتاب (تنوع الكائنات خلق أم تطور أم تطوير ؟) وترجمة كتاب (خرافة التطور) وغيرها.

fidajundi@gmail.com

جوال : ٠٥٣٩١٥٠٣٤٠ E-Mail:dalailcentre@gmail.com

Dalailcentre/

DALAIL

332028

مكتبة | سُر مَن قرأ

t.me/t_pdf