الفصل الأول

الهيدرولوجيا

Hydrology

محاضرة رقم (2)

جامعة البصرة – كلية التربية للبنات

قسم الجغرافية – المرحلة الثانية

إعداد مدرس المادة

زينب صائب الجمالي

أشكال المياه وحالاتها وتوزيعها الجغرافي

تتباين المياه في الكرة الأرضية في شكل تواجدها وطبيعة حالتها ونوعيتها ومساحتها وتوزيعها الجغرافي على سطح الأرض، وفيما يأتي بيان لتلك الخصائص:

1- أشكال المياه: *Water Forms*

إن المياه المتواجدة ضمن المجال الحيوي للأرض تتخذ ثمانية أشكال رئيسة وهي المحيطات والجليد والمياه الجوفية والبحيرات وماء التربة وبخار الماء والأنهار فضلاً عن المياه التي تحويها أجساد الكائنات الحية، وتقدر الكمية الإجمالية لحجم المياه في الكرة الأرضية بحدود 1.4 مليار كم^3 (جدول 2) لتشكل الغلاف المائي (*Hydrosphere*) للكرة الأرضية وهو واحد من الأغلفة الأربعة للبيئة الطبيعية. تسيطر مياه البحار والمحيطات على أشكال المياه الأخرى جميعها، إذ تبلغ كميتها بحدود 1.35 مليار كم^3 لتمثل 96.56% من الكمية الإجمالية لمياه الكرة الأرضية، في حين يمثل حجم المياه في الكائنات الحية أدنى أشكال المياه وبمقدار 0.001 مليون كم^3 ليمثل 0.00007 % من الكمية الإجمالية للمياه في الكرة الأرضية.

جدول 2 أشكال المياه وكميتها المخمنة ومساحاتها على الكرة الأرضية.

أشكال المياه	كمية المياه (مليون كم^3)	المساحة (مليون كم^2)	النسبة من المياه	النسبة من المساحة
البحار والمحيطات	1349.9	362	96.56	70.98
الجليد والثلوج	24.36	16.3	1.74	3.2
المياه الجوفية	23.40	134.8	1.67	26.43
البحيرات	0.231	4.7	0.017	0.92
ماء التربة	0.017	82	0.0012	16.08
بخار الماء	0.013	510	0.0009	100
الأنهار	0.002	5.56	0.0001	1.09
الكائنات الحية	0.001	510	0.00007	100
المجموع	1397.924	510	100	100

[1] Suresh, R. 2005. Watershed hydrology (principles of hydrology), second Edition, Delhi, 692 P

على الرغم من تعدد أشكال المياه في الكرة الأرضية غير أن أكثر أشكال المياه أهمية كموارد طبيعية ثلاثة؛ وهي المياه السطحية (البحيرات والأنهار) والمياه الجوفية والمحيطات وذلك بسبب كثرة استخدامها وارتباط حياة الإنسان بها وكذلك لسعة انتشارها واحتوائها على العديد من الموارد الطبيعية فضلاً عن

آثارها البيئية الواسعة، لذلك غالباً ما تشتمل الدراسات الهيدرولوجية على تلك الموارد المائية الثلاثة فقط.

2- مساحة المياه: *Area of Water*

تتباين أشكال المياه المختلفة في المساحة التي تشغلها ضمن المجال الحيوي للكرة الأرضية بشكل لا يتناسب مع حجم المياه ولا يتعارض مع امتداد المساحة لكل شكل من أشكال المياه. فعلى الرغم من ضآلة حجم المياه المتمثلة في بخار الماء والكائنات الحية إلا أنهما يتواجدان تقريباً في جميع المساحة التي تشغلها الكرة الأرضية والبالغة 510 مليون كم^2 إذ يمثل كل منهما 100% من المساحة الإجمالية للكرة الأرضية (جدول 2)، بسبب إحاطة الغلاف الجوي بالكرة الأرضية إحاطة شاملة، أما الكائنات الحية فهي تتواجد في جميع أجزاء الغلاف الصخري والغلاف المائي.

في حين تضيق المساحة التي تشغلها مياه البحار والمحيطات إلى حوالي 362 مليون كم^2 لتمثل حوالي 71% من المساحة الإجمالية للكرة الأرضية على الرغم من ضخامة حجم المياه في البحار والمحيطات، ويرجع السبب في ذلك إلى اتصال المياه البحرية فيما بينها لتشكل كتلة مائية واحدة وانتفاء تناثر أجزائها كما في بخار الماء والكائنات الحية، إن مياه البحار والمحيطات وعلى الرغم من التضييق النسبي لامتداد مساحتها مقارنة ببخار الماء والكائنات الحية إلا أنها تعد أكبر مظهر جيومورفولوجي في الطبيعة. وتمثل المياه في الأنهار أدنى أشكال المياه في امتداد المساحة وبمقدار 5.56 مليون كم^2 ليمثل 1.09% من المساحة الإجمالية للكرة الأرضية.

3- حالات المياه: *Water States*

تتمثل مياه الكرة الأرضية في ثلاث حالات فيزيائية وهي كل من الحالة الصلبة (*Solid*) التي تمثلها الكتل الجليدية في العروض العليا والثلوج في القمم الجبلية المرتفعة، كما تتمثل المياه في الحالة السائلة (*Liquid*) والتي يتمثل معظمها في مياه المحيطات والبحيرات والأنهار والمياه الجوفية ورطوبة التربة، وكذلك تتمثل المياه في الحالة الغازية (*Gas*) والتي يمثلها بخار الماء في الغلاف الجوي القريب من سطح الأرض. إن الحالة السائلة للمياه تسيطر على حالات المياه الأخرى، إذ يقدر حجم المياه في الحالة السائلة بحدود 1.37 مليار كم^3 لتمثل بحدود 98.26% من الكمية الإجمالية لمياه الكرة الأرضية (جدول 3)، وينخفض حجم المياه في الحالة الصلبة إلى حوالي 24.36 مليون كم^3 ليمثل 1.74% من الكمية الإجمالية لمياه الكرة الأرضية، في حين يمثل حجم المياه في الحالة الغازية أدنى حالات المياه وبمقدار 0.013 مليون كم^3 ليمثل حوالي 0.0009% من الكمية الإجمالية لمياه الكرة الأرضية. إن المياه السائلة تتجمد (*Freezing*) وتتحول إلى الحالة الصلبة لتشكل الجليد والثلوج

عندما تنخفض درجة حرارة المياه إلى ما دون درجة الصفر المئوي فإن ارتفعت درجات الحرارة فوق درجة الصفر المئوي تبدأ الكتل الجليدية بالتكسر والذوبان (*Malting*)، وعندما ترتفع درجات الحرارة إلى 100 درجة مئوية تبدأ عملية الغليان (*Boiling*) لتتحول المياه إلى الحالة الغازية بفعل نشاط عمليات التبخر (*Evaporation*)، ولذلك فإن المياه يمكنها أن تحافظ على حالتها السائلة عندما تتباين درجة حرارتها بين أكثر من 0 درجة مئوية إلى أقل من 100 درجة مئوية.

جدول 3 حالات المياه في الكرة الأرضية.

حالات المياه		كمية المياه (مليون كم^3)	النسبة من الكمية الإجمالية للمياه
السائلة	البحار والمحيطات	1349.9	96.56
	المياه الجوفية	23.40	1.67
	البحيرات	0.231	0.017
	ماء التربة	0.017	0.0012
	الأنهار	0.002	0.0001
	الكائنات الحية	0.001	0.00007
	المجموع	1373.551	98.256
الصلبة	الجليد والثلوج	24.36	1.74
الغازية	بخار الماء	0.013	0.0009
المجموع		1397.924	100

إن عملية تحول الماء من الحالة الصلبة (الثلج) في درجة حرارة الصفر المئوي إلى الحالة السائلة من خلال عمليات التدفئة (*Warming*) والذوبان تتطلب كمية من الحرارة مقدارها 80 سعرة/غم، وبما أن عملية التجمد عكس عملية الذوبان لذلك فإن عملية تحول الماء من الحالة السائلة في درجة حرارة الصفر المئوي إلى الحالة الصلبة من خلال عملية التبريد (*Cooling*) تطلق كمية من الحرارة مقدارها 80 سعرة/غم (شكل 1). كما أن عملية تحول الماء من الحالة السائلة في درجة حرارة 100 مئوية إلى الحالة الغازية من خلال عمليات التدفئة (*Warming*) والتبخر تتطلب كمية من الحرارة مقدارها 540 سعرة/غم، وبما أن عملية التكاثف (*Condensing*) عكس عملية التبخر لذلك فإن عملية تحول الماء من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة من خلال عملية التبريد (*Cooling*) تطلق كمية من الحرارة مقدارها 540 سعرة/غم.

4- نوعية المياه: Water Quality

تتحدد نوعية المياه بشكل رئيس بدرجة تركيز الأملاح الذائبة، إذ تتباين ملوحة المياه بشكل كبير بين أشكال المياه المختلفة، كما تتباين الملوحة ضمن الشكل الواحد للمياه. إن المياه المالحة تسود مياه الكرة الأرضية إذ يقدر الحجم الإجمالي للمياه المالحة بحدود 1.36 مليار كم^3 ليمثل حوالي 97.5% من الكمية الإجمالية لمياه الكرة الأرضية (جدول 4)، وتمثل المياه المالحة مجمل مياه البحار والمحيطات و55% من حجم المياه الجوفية وحوالي 45.5% من حجم مياه البحيرات.

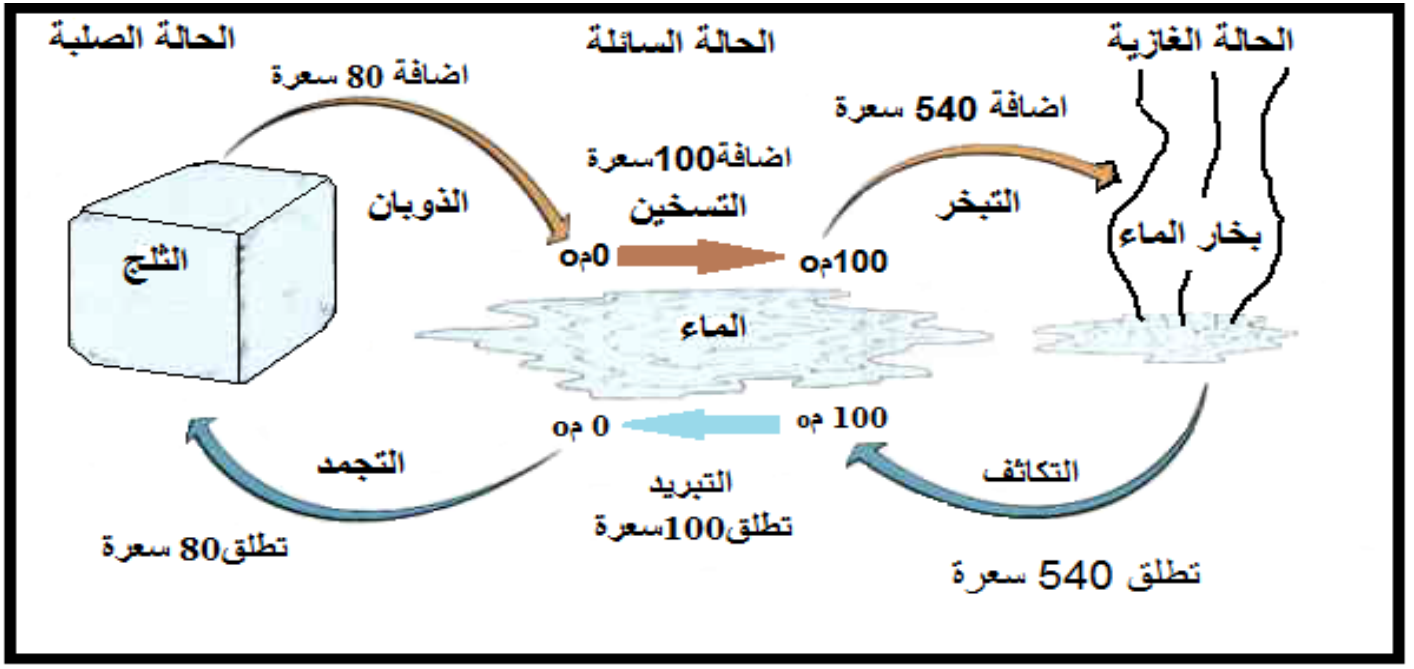
جدول 4 نوعية المياه في الكرة الأرضية.

نوعية المياه	إشكال المياه	كمية المياه مليون كم^3	النسبة من إجمالي المياه	النسبة من المياه العذبة
مالحة	البحار والمحيطات	1349.9	96.56	0.0
	المياه الجوفي	12.87	0.92	0.0
	البحيرات المالحة	0.105	0.008	0.0
	المجموع	1362.875	97.5	0.0
عذبة	الجليد والثلوج	24.36	1.74	69.50
	مياه جوفية	10.53	0.75	30.04
	البحيرات	0.126	0.009	0.36
	ماء التربة	0.017	0.0012	0.05
	بخار الماء	0.013	0.0009	0.04
	الأنهار	0.002	0.0001	0.006
	المجموع	35.048	2.5	100

المصادر:

[2] Subramanya, K. 2004. Engineering hydrology, Second Edition, New Delhi, 392 P.

شكل 1 الحالات الفيزيائية للمياه في الكرة الأرضية.



المصدر:

Sverdrup, K. A., Duxbury, A.B. and Duxbury, A.C. 2006. Fundamentals of Oceanography, 5th edition, Mc Graw Hill Higher Education, New Yok, 342 p.

ليمثل حوالي 2.5% من الكمية الإجمالية لمياه الكرة الأرضية، وتمثل المياه العذبة مجمل الكتل الجليدية والثلوج وحوالي 45% من حجم المياه الجوفية وحوالي 54.5% من حجم مياه البحيرات فضلاً عن ماء التربة وبخار الماء ومياه الأنهار. إن حجم المياه العذبة تتباين بين أشكال المياه المختلفة إذ يرتفع الحجم في الجليد والثلوج إلى 24.36 مليون كم^3 ليمثل 69.50% من الحجم الإجمالي للمياه العذبة، في حين ينخفض حجم المياه العذبة إلى 2 ألف كم^3 في الأنهار ليمثل 0.006% من الحجم الإجمالي للمياه العذبة في الكرة الأرضية.

إن المياه العذبة المتواجدة في الكتل الجليدية ورطوبة التربة وبخار الماء التي يقدر حجمها بحدود 24.39 مليون كم^3 لتمثل حوالي 69.59% من الحجم الإجمالي للمياه العذبة تعد مياه غير متاحة للاستخدام (*Unavailable For Use*)، وعليه يقدر الحجم الواقعي للمياه العذبة المتاحة للاستخدام بحدود 10.658 مليون كم^3 لتمثل حوالي 0.76% من الحجم الإجمالي للمياه في الكرة الأرضية.

5- توزيع المياه على سطح الأرض:

Distributions of Water on The Land

تشتمل الكرة الأرضية من الناحية الجيومورفولوجية على ثلاثة أنواع رئيسة من المسطحات المائية تغطي سطح الأرض وتتمثل في المحيطات والبحيرات والأنهار والتي تقدر مساحتها الإجمالية بحدود 372.26 مليون كم^2 لتمثل حوالي 73% من المساحة الإجمالية للكرة الأرضية. غير أن المسلم به من الناحية الجغرافية أن تحسب مساحة المياه التي تشغلها البحيرات والأنهار ضمن الجزء اليابس من الكرة الأرضية لتقتصر مساحة المسطحات المائية في الكرة الأرضية على مياه المحيطات فقط. إن احتساب البحيرات ضمن المساحة اليابسة على الرغم من امتداد بعضها لمساحات واسعة وذات أعماق كبيرة ربما ترجع أسبابه إلى إحاطة البحيرات جميعها بسطح الأرض من الجهات كلها ولا يوجد اتصال للبحيرات مع بعضها لتشكل كتلة مائية متماسكة، فهي عبارة عن مسطحات مائية صغيرة نسبياً متناثرة في الجزء اليابس من الكرة الأرضية، كما أنها معرضة للجفاف وسريعة الاضمحلال والاندثار. أما أسباب احتساب الأنهار ضمن المساحة اليابسة فربما ترجع إلى قلة اتساع المجاري النهرية وضحالة أعماقها ولا يوجد اتصال للأنهار مع بعضها إذ أن لكل نهر منبعاً ومجرى ومصباً محدداً تفصله مساحات واسعة من اليابسة عن سائر الأنهار.

أصل المياه: Source Water

تمتاز الكرة الأرضية عن سائر كواكب المجموعة الشمسية بوفرة المياه، إذ تقدر الكمية الإجمالية للمياه بحدود 1.4 مليار كم^3 وتتسع المساحة التي تشغلها بحدود 362 مليون كم^2 لتشكل حوالي 71% من إجمالي مساحة الكرة الأرضية، في حين ينعدم أو يندر وجود المياه في سائر الكواكب إذ توجد بعض الثلوج في كوكب المريخ والزهرة. إن ضخامة المياه في الكرة الأرضية وانتشارها الواسع يستوجب البحث عن المصادر التي أدت إلى نشأت الغلاف المائي (*Hydrosphere*) على سطح الأرض.

إن المجال الحيوي للكرة الأرضية يضم حالياً أربعة أغلفة هي الغلاف البيولوجي (*Biosphere*) والغلاف الجوي (*Atmosphere*) والغلاف الصخري (*Lithosphere*) الذي يتمثل في طبقة القشرة الأرضية (*Crust*) والجزء الأعلى من طبقة الوشاح (*Mantle*) فضلاً عن اشتمال المجال الحيوي على الغلاف المائي. ويمكن احتمال تلك الأغلفة الثلاثة الأولى أن تكون مصدراً للمياه في الكرة الأرضية وتشكيل الغلاف المائي، ولذلك ستحصل مناقشة هذه الأغلفة لغرض التوصل إلى معرفة المصدر الأساس لنشأة المياه على سطح الأرض.

جدول 5 نسب مساحة المياه واليابسة وتوزيعها بين نصفي الكرة الأرضية.

الموقع	نسبة اليابسة من إجمالي اليابسة	نسبة المياه من إجمالي المياه
النصف الجنوبي للأرض	30	58.17
النصف الشمالي للأرض	70	41.83
المجموع	100	100

الموقع	نسبة اليابسة من الكرة الأرضية	نسبة المياه من الكرة الأرضية	المجموع
النصف الجنوبي للأرض	8.7	41.3	%50
النصف الشمالي للأرض	20.3	29.7	%50
المجموع	29	71	%100

الموقع	نسبة اليابسة من نصف الأرض	نسبة المياه من نصف الأرض	المجموع
النصف الجنوبي للأرض	17.4	82.6	%100
النصف الشمالي للأرض	40.6	59.4	%100
المعدل	29	71	%100

أجسادها نسباً عالية من المياه وبمقدار يتباين ما بين 65- 95% من الحجم الإجمالي للأجساد. ويمكن أن تكون مصدراً للمياه على سطح الأرض ولاسيما بعد موتها وتفسخ أجسادها. غير أن الحجم الإجمالي للمياه في الغلاف البيولوجي تقدر بحدود 0.001 مليون كم^3 وهي كمية ضئيلة جداً إذ تمثل بحدود 0.00007% من حجم الغلاف المائي البالغ بحدود 1.4 مليار كم^3، بل إن الغلاف البيولوجي لم يكن موجوداً في الأصل قبل تكون الغلاف المائي بسبب اقتران الحياة بالوجود المائي، ولذلك ينتفي احتمال أن يكون الغلاف البيولوجي مصدراً لنشأة المياه على سطح الأرض.

أما الغلاف الجوي فيمكن أن يكون مصدراً لمياه سطح الأرض من خلال عمليات التساقط الجوي والمتمثلة بالأمطار والثلوج بشكل أساس. أن نطاق الغلاف الجوي المحيط بالكرة الأرضية له طاقة استيعابية من المياه يمكن أن تعمل طبقة مائية على سطح الأرض سمكها لا يزيد على 5 سم[5]، وذلك بعد أن تصل رطوبة الغلاف الجوي إلى درجة الإشباع التام (نسبة الرطوبة الجوية 100%) وأن هذه الرطوبة جميعها تسقط على سطح الأرض. كما تشير البيانات المناخية الحالية إلى أن الكمية الإجمالية للتساقط الجوي تقدر بحدود 0.5 مليون كم^3 ويمكنها أن تغطي سطح الكرة الأرضية بطبقة مائية معدل عمقها بحدود متر واحد وذلك في حالة انتفاء تعرض تلك المتساقطات الجوية إلى عمليات التبخر السطحي والتسرب الأرضي. ومع ذلك فإن هذه الكمية قليلة مقارنة بمعدل أعماق المياه في المحيطات البالغ بحدود 3729 متراً، كما أن هذه الكمية من المياه المحتمل وجودها في الغلاف الجوي وتساقطها على سطح الأرض هي في الأصل جزء من المياه السطحية للكرة الأرضية وقد تعرضت لعمليات التبخر والتكاثف ومن ثم التساقط على سطح الأرض على شكل أمطار وثلوج، بل إن الأدلة العلمية تشير إلى أن الغلاف الجوي لم يكن موجوداً حينما تكونت الكرة الأرضية. وعليه فلا يمكن احتمال أن يكون الغلاف الجوي المصدر الأساس لتشكيل الغلاف المائي.

أما فيما يتعلق بالغلاف الصخري فإن إجمالي مساحة سطح الأرض تقدر بحدود 510 مليون كم^2، يشغل الجزء اليابس من سطح الأرض مساحة تقدر بحدود 148 مليون كم^2، ويتباين سمك القشرة الأرضية (*Thickness*) بين 0- 65 كم وبمعدل 40 كم فيكون حجم الكتلة اليابسة بحدود 6 مليار كم^3. في حين تشغل مياه المحيطات مساحة من سطح الأرض تقدر بحدود 362 مليون كم^2، ويتباين سمك القشرة الأرضية ما بين 0- 10 كم وبمعدل 7 كم[6] وبذلك يكون حجم الكتلة الأرضية التي تغطيها المياه البحرية بحدود 2 مليار كم^3. ولذلك فإن الحجم الإجمالي لكتلة القشرة الأرضية يبلغ بحدود 8 مليار كم^3. إن المياه المتواجدة في صخور القشرة الأرضية تمثل نسبة تتباين مابين 0.1- 0.5 % من الحجم الإجمالي لكتلة القشرة الأرضية[7]، وعليه فإن حجم المياه

تزيد على 0.4 مليار كم^3 في أحسن الحالات، من خلال هذا العرض والتحليل المنطقي المدعوم بالأدلة العلمية يتبين أن الأغلفة المتواجدة جميعها في المجال الحيوي للكرة الأرضية ليس فيها القدرة الكاملة على إنتاج هذه الكمية الهائلة من المياه المتواجدة حالياً في الكرة الأرضية، مما دفع المختصين للبحث عن مصادر أخرى تكون أكثر منطقية في تفسير عمليات إنتاج المياه وتشكيل الغلاف المائي، ومن هنا ظهرت نظريات جديدة عالجت موضوع أصل المياه في الكرة الأرضية ومن أهمها نظرية إزالة الغازات المتشربة (*Out Gassing Theory*).

تشير نظرية إزالة الغازات إلى أن إزالة أو تطاير الغازات المتشربة مع مكونات باطن الأرض إلى القشرة الأرضية والسطح هي المصدر الأساس للمياه على سطح الأرض، إذ تتكون هذه الغازات المتطايرة من 70% بخار الماء و15% ثاني أوكسيد الكاربون و5% نيتروجين و5% أوكسيد الكبريت والنسبة المتبقية تشتمل على الكلور والهيدروجين والاركون[8]. على الرغم من أن الكثير من الماء المنبثق من باطن الأرض يتبخر ويكون جزءاً من الرطوبة الجوية أو يتغلغل في داخل الشقوق والتصدعات الموجودة في الصخور بحيث لم يبق منه إلا الجزء القليل على السطح، غير أن معدل السرعة الحالية لإزالة أو تطاير الغازات المتشربة مع مكونات باطن الأرض كافية لوجود المياه على سطح الأرض بهذا الحجم البالغ بحدود 1.4 مليار كم^3 ولاسيما إن فترة إزالة تلك الغازات مستمرة منذ نشأة الأرض والتي تقدر بحدود 4.5- 4.6 مليار سنة ماضية.

لقد تباينت كمية المياه المندفعة من باطن الأرض خلال الأزمنة الجيولوجية الأربعة للأرض إذ يعد منتصف الزمن الجيولوجي الثالث أكثر الفترات التي تطايرت فيها الأبخرة والغازات من باطن الأرض بسبب حدوث أعظم الحركات الأرضية الالتوائية والانكسارية وفيها حدثت أعظم ثوران للبراكين[9]. وعلى وفق نظرية إزالة الغازات المتشربة فإن حجم المياه في الكرة الأرضية غير ثابت مع الزمن وإنما يتجه نحو الزيادة، واستناداً إلى الحجم الحالي للمياه فإن حجم الزيادة السنوية للمياه يقدر بحدود 0.3 مليون كم^3. وهناك أدلة حالية تثبت صحة تلك النظرية وهي انبثاق الماء من ينابيع الكبريت الحارة والحمم البركانية.

أما أسباب انعدام أو ندرة المياه في الكواكب الأخر فترجع إلى صغر مساحتها مقارنة بمساحة الأرض مما يقلل من درجة الحرارة والضغط في باطنها وهذا يؤدي إلى بطء سرعة إزالة الغازات وتكوين المياه. وعليه فإن التاريخ الجيولوجي هو السبب في انعدام أو ندرة وجود المياه على سطح الكواكب الأخرى، وإن اكتشاف البراكين ووجود الثلج على أقطاب المريخ دليل آخر على صحة هذه النظرية.