الباب الثاني

الدورة المائية
وأماكن تواجد الماء

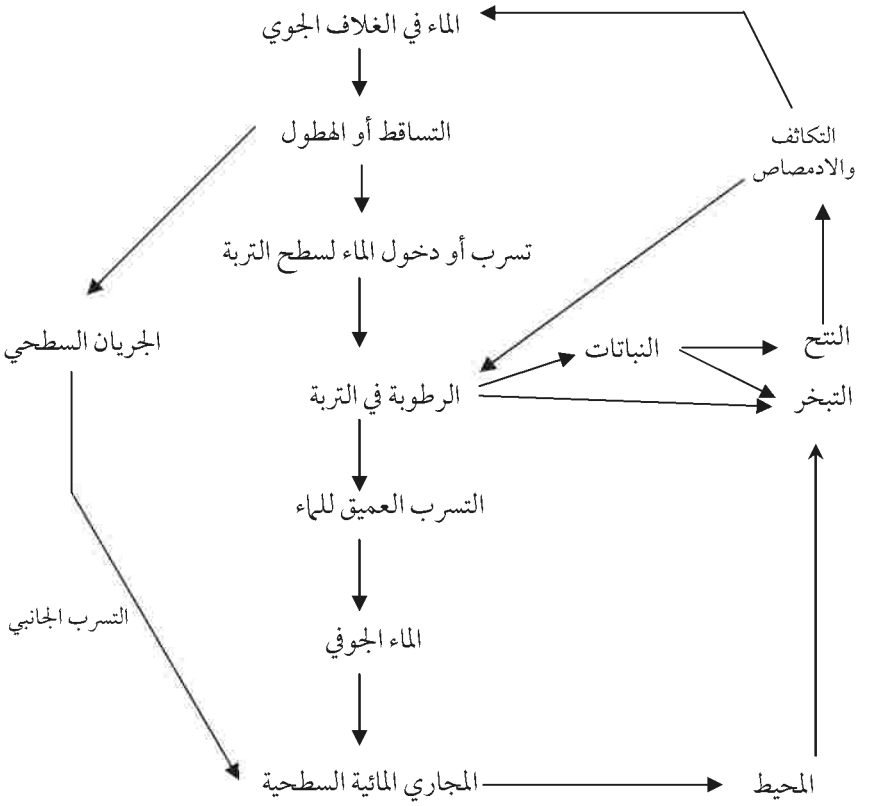
2-1: الدورة المائية الأرضية

علمنا أن مياه البحار والمحيطات والأنهار ومعظم المياه الجوفية نشأت أثناء وبعد الفيضان العظيم حين نشأة الكرة الأرضية في عصور جيولوجية قديمة. هل استقرت المياه في أماكنها عقب تساقطها وتجمعها؟ كلا. فالمياه دائمة الحركة، تنتقل من مكان إلى آخر ومن وضع إلى آخر، وتتغير من صورة إلى أخرى.

ويتعرض الماء في الكرة الأرضية لدورة ثابتة ومتزنة ومستمرة بين الأرض والغلاف الجوي، وتسمى هذه الدورة بالدورة المائية أو الدورة الهيدرولوجية (water or hydrologic cycle) ويوضح الشكل (3): رسم تخطيطي لدورة المياه:

حيث إن المصدر الرئيسي لوصول المياه لسطح الكرة الأرضية هو مياه التساقط أو الهطول (أمطار – برد – ثلج)، والمصدر الرئيسي للماء الموجود في الغلاف الجوي هو الماء المتبخر من المجاري المائية السطحية (من بحار ومحيطات وأنهار وبحيرات.....) ومن سطح الأرض والنباتات. وتستمر هذه الدورة بين سطح الكرة الأرضية، وبين غلافها الجوي وبشكل متوازن وثابت ومستمر، لذلك نطلق عليها اسم «الدورة المائية الأرضية».

وعندما تسقط الهطول على سطح الأرض فإن جزءًا منها يحدث له جريان سطحي (Run off) ويصل في النهاية إلى البحار والمحيطات مرورًا بأي منخفض طبيعي في المنطقة، والمقصود بالجريان السطحي: الماء الذي يجري على سطح الأرض دون اختراق لقطاع التربة، وعليه فإن الحركة المستمرة للماء في المجاري المائية تسمى أيضًا بالجريان السطحي، ويسمى الجريان السطحي على سطح الأرض لذلك في بعض المراجع بالجريان فوق سطح الأرض (Over Land Flow)حتى نميز بينه وبين التصرف أو التسرب الجانبي وسريان الماء الجوفي (Lateral seepage and ground water flow).



شكل(3): الدورة المائية على الأرض

وجريان الماء على السطح يعني أنه لا يدخل قطاع التربة وبالتالي لا يستفيد به النبات، ويتسبب هذا الجريان السطحي في نحر الأرض، وتختلف كمية المياه المفقودة بالجريان السطحي من عام إلى آخر حيث تقل في السنوات قليلة الأمطار (الجافة).

ويمكن تقدير كمية مياه الجريان السطحي لمساحة معينة من الأرض خلال فترة زمنية معينة من العلاقة التالية (Kohnke. 1968):

الجريان السطحي= الماء المكتسب – الماء المفقود – الماء المخزن.

ويشمل الماء المكتسب كل من التساقط (والري) والتكاثف والادمصاص، ويشمل الماء المفقود كل من التسرب لأسفل والتبخر والنتح، ويشمل الماء المخزن (storage)

كل من الماء المخزن على سطح الأرض وأيضًا الماء المدمص على سطح التربة وهذا يحدده ميل ومدى خشونة سطح الأرض، ويشمل الماء المخزن أيضًا الماء المتجمع على سطح الغطاء النباتي حتى يتم فقده بالتبخر (Intercepeion storage) ويشمل أيضًا الزيادة في المحتوى الرطوبي للتربة، وعند الحساب لفترة قصيرة من الزمن ناتجة من رخة مطر واحدة يمكن إهمال التغيرات القليلة في رطوبة التربة.

وبصفه عامة فإن هناك علاقة عكسية بين كمية مياه الجريان السطحي وكمية المياه التي تخترق أو ترشح إلى باطن التربة.

ويزداد الجريان السطحي بزيادة وغزارة كمية الأمطار وأيضًا بزيادة ميل سطح الأرض، وأيضًا يزداد الجريان السطحي كلما قلت نفاذية أو مسامية التربة على السطح.

تسرب الماء: أو اختراق الماء لسطح التربة (Infiltration):

الجزء الثاني من مياه الهطول أو التساقط (والذي لا يحدث له جريان سطحي)سوف يخترق أو يدخل أو يتسرب إلى داخل التربة، أي يتحرك الماء رأسيًا إلى أسفل داخل مسام التربة، ويتأثر معدل دخول الماء للتربة بخواص التربة ومعدل إضافة الماء وطريقة إضافته، ويُعرف معدل التسرب (Infiltration rate or Infiltrability) بأنه حجم تدفق الماء المتسرب إلى قطاع التربة لكل وحدة مساحة سطح من التربة لكل وحدة زمن، أي أن وحدته عبارة عن عمق لكل وحدة زمن أي وحدة سرعة (lt^{-1}). وهو يساوي معامل التوصيل الهيدروليكي المشبع إذا كانت التربة متجانسة القطاع وذات بناء ثابت، ويعتمد معدل التسرب على كلٍّ من: المحتوى الرطوبي للتربة عند بداية عملية دخول الماء، حيث يزداد كلما كانت التربة جافة والعكس صحيح - معامل التوصيل الهيدروليكي المشبع للتربة، والذي يتوقف على نفاذيتها، حيث يزداد تسرب الماء كلما كانت نفاذية التربة أعلى ومعامل توصيلها الهيدروليكي مرتفع وجود طبقات غير منفذة قريبة من سطح التربة، حيث يقلل ذلك من تسرب الماء.

ومعنى ذلك أن معدل اختراق الماء للتربة يتوقف أو يتأثر بقوام التربة وبناء التربة وخاصة بمدى تجانس التربة، فمثلًا لو كانت التربة غير متجانسة القطاع وعلى سطحها طبقة طينية يليها طبقة رملية فإن الطبقة الطينية العليا هي التي سوف تتحكم في معدل دخول الماء للتربة.

رطوبة التربة (soil moisture):

الماء المتسرب أو المخترق لسطح التربة تحتفظ التربة بجزء منه، يتوقف على قوام وبناء التربة، وهذا ما نسميه بالمحتوى الرطوبي للتربة، ومن هذه الرطوبة تمتص النباتات المياه اللازمة لحياتها. والجزء الذائد عن حاجة النباتات يتحرك إلى أسفل بالتسرب العميق (percolation) وذلك تحت تأثير الجاذبية الأرضية.

ويعتمد مقدار الماء المتسرب إلى أسفل على مسامية التربة حيث يزداد كلما كانت المسام واسعة (أي كبيرة القطر) ويزداد أيضًا بزيادة كمية المياه الساقطة على التربة.

الماء الجوفي (Ground Water): تستمر حركة الماء إلى أسفل بالتسرب العميق ويتجمع فوق طبقة من التربة صماء أو قليلة النفاذية، ليُكون ما يسمى بالماء الجوفي (وسنعود للحديث عن ذلك) في الفصل الرابع من هذا الباب.

والماء الجوفي ليس ساكنًا ولكنه يتحرك إلى أي منخفضات طبيعية ويصل في النهاية إلى المجاري المائية السطحية (streams) وهذه تصل مياهها في النهاية إلى البحار والمحيطات (ocean).

التبخر والنتح (Evaporation and Transpiration).

المياه الموجودة على سطح الكرة الأرضية في المحيطات والبحار والأنهار والبحيرات وأي مجاري مائية سطحية، وأيضًا المياه الموجودة في التربة اليابسة المبتلة، وأيضًا المياه المتجمعة على أسطح النباتات تتحول تحت تأثير حرارة وإشعاع الشمس من

الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (أي بخار الماء) وهذه العملية تسمى بعملية البخر أو التبخر (evaporation) ويتصاعد هذا البخر إلى الغلاف الجوي، والنباتات تفقد الماء عند فتح ثغور الأوراق نهارًا عندما تحدث عملية التمثيل الضوئي، وعملية فقد الماء من النباتات على طريق الثغور تسمى بعملية النتح (transpiration). ويطلق على مجموع المياه المفقودة بالبخر وبالنتح مصطلح البخرنتح (evapotranspiration).

التكاثف (Condensation):

الماء المتصاعد من سطح الأرض (أي من الغلاف المائي والغلاف اليابس) في صورة بخار ماء يحدث له تكاثف في طبقات الغلاف الجوي، أي يتحول من الصورة الغازية (بخار الماء) إلى الصورة السائلة وذلك عندما تنخفض درجة الحرارة إلى ما يسمى بنقطة الندى (dew point)، ولكي يحدث التكاثف فلابد من توافر شرطين هما:

1 – وصول هواء الغلاف الجوي إلى التشبع بإضافة بخار ماء أكثر أو بانخفاض درجة الحرارة بالتبريد.

2 – توافر نويات التكاثف.

وعندما يحدث التكاثف في طبقات الغلاف الجوي العليا تتكون السحب (وهذه سنعود للحديث عنها عند التحدث عن الماء في الغلاف الجوي). وعندما تزيد كمية المياه المتكاثفة داخل السحب (سواء في صورة ماء سائل أو ثلج) فإن السحب لا تستطيع حمل هذه الكمية فتتساقط الهطول من السماء في صورة مطر أو برد أو ثلج حسب درجة الحرارة داخل السحابة وفي طبقات الغلاف الجوي أسفلها.

أي أن ما يتبخر من ماء من سطح الكرة الأرضية يعود ليتكثف مرة أخرى ويسقط في صورة هطول وبذلك يعود الماء مرة أخرى إلى البحار والمحيطات والمسطحات المائية وسطح الأرض اليابسة والنباتات، لتبدأ الدورة المائية من جديد. وهذه الدورة هي

المسئولة بأمر الله وقدرته عن حفظ التوازن المائي على سطح الأرض منذ نشأتها، ولولا هذا التوازن أو الاتزان المائي لأصبح سطح الكرة الأرضية كله مياه (لو استمر تساقط الهطول، بدون تبخر من السطح).أو أصبح كله أرض جافة فقط بدون أية مياه سطحية (على فرض أن عملية التبخر سوف تستمر بدون حدوث هطول أو أمطار)، وهذا الاتزان المائي يحفظ دائمًا منسوب المياه تقريبًا ثابتًا في البحار والمحيطات، وبالتالي يحفظ الحياة في المدن والمناطق القريبة من السواحل.

وبهذا التوازن المائي يحفظ ربنا سبحانه وتعالى الحياة على الأرض إلى أن يرث الأرض وما عليها وتنتهي الحياة.

وحسب قانون بقاء المادة (المادة أو الطاقة لا تفني ولا تستحدث) فإن كمية المياة المتبخرة من سطح الكرة الأرضية تتعادل مع كمية المياه المتساقطة عليها (كما في الجدول التالي) ويؤكد هذا المفهوم أن منسوب المياه في المحيطات لم يطرأ عليه أدني تغيير يذكر منذ آلاف السنين.

جدول (2): التوازن المائي على الأرض

	المساحة(مليون كم^2)	التبخر (كم^3)	التساقط (كم^3)
البحار والمحيطات	361	447900	411600
اليابسة	149	70700	10700
كل سطح الكرة الأرضية	510	518600	518600

ثمة أمران يجعلان من الماء نعمة كبرى من نعم الخالق -جل وعلا- على عباده:

أولهما- أن الماء كما سبق أن ذكرنا ضروري ومهم لبقاء الجنس البشري، وسائر الأحياء الأخرى على الأرض.

ثانيهما- هو أن كمية المياه خلافًا لغيرها من الموارد الطبيعية التي أوجدها الله في الأرض ذات قدر ثابت، إذا لا يمكن زيادتها (كالأخشاب أو الأسماك)، ولا يمكن إنقاصها (كالنفط أو الفحم).

وقد أشار القرآن الكريم إلى ذلك في قوله تعالى: ﴿ وَٱلسَّمَآءِ ذَاتِ ٱلرَّجْعِ ﴾ (الطارق: 11).

ونحن نعلم اليوم أن سماء الأرض (أي السماء الدنيا) ترجع غالبية ما يرتفع إليها من كوكبنا إلى ذلك الكوكب مرة أخرى، وقد وصف المفسرون الأوائل (الرجع) بأنه المطر وهذا صحيح، لأن بخار الماء الذي يتصاعد من الأرض إلى السماء بفعل حرارة الشمس التي تبخره مباشرة من أسطح البحار والمحيطات والأنهار والبحيرات والبرك والمستنقعات، أو بطريقة غير مباشرة من المياه تحت السطحية ومن عمليات التنفس والنتح، كل ذلك يعود مرة أخرى إلى الأرض في دورة محكمة تُعرف باسم «دورة المياه الأرضية». وهذه الدورة تعني كما أوضحنا أن كمية الماء في الأرض تظل ثابتة، لأن ما يصعد منها يعود في صورة المطر إليها مرة أخرى.

وقد ذكر عبد الله بن عباس رضي الله عنهما في شرحه لرجع السماء ما نصه «الرجع هو المطر، أو السحاب فيه المطر». **وقال قتادة** رضي الله عنه: «السماء ذات الرجع، أي التي ترجع رزق العباد كل عام بما تنزله من مطر ولولا ذلك لهلكوا وهلكت مواشيهم».

والخالق العظيم تبارك وتعالى يحفظ لنا الماء من الفناء، ويعبر القرآن الكريم في أسلوب بياني رائع عن ذلك في قوله تعالى: ﴿ قُلْ أَرَءَيْتُمْ إِنْ أَصْبَحَ مَآؤُكُمْ غَوْرًا فَمَن يَأْتِيكُم بِمَآءٍ مَّعِينٍ ﴾ (الملك: 30). وفي اللغة، فإن (الغور) مصدر الفعل (غار). يقال (غار الماء) إذا نضب وذهب في الأرض، و(الماء المعين) هو الماء الظاهر الجاري على سطح الأرض بحيث تراه العين، وأيضًا في قوله تعالى: ﴿ وَأَرْسَلْنَا ٱلرِّيَـٰحَ لَوَٰقِحَ فَأَنزَلْنَا مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً

فَأَسْقَيْنَٰكُمُوهُ وَمَآ أَنتُمْ لَهُۥ بِخَٰزِنِينَ ﴾ (الحجر: 22)، وأيضًا في قوله تعالى: ﴿ وَأَنزَلْنَا مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءًۢ بِقَدَرٍ فَأَسْكَنَّٰهُ فِى ٱلْأَرْضِ ۖ وَإِنَّا عَلَىٰ ذَهَابٍۭ بِهِۦ لَقَٰدِرُونَ ﴾ (المؤمنون: 18).

فالدورة المائية الأرضية آية كبرى من آيات الله، وبقاء هذه الدورة متوازنة ومستمرة منذ بلايين السنيين نعمه عظيمة. والذي يتحكم في هذه الدورة قدرة الماء على التحول طبيعيًا من صورة إلى أخرى وأيضًا خصائصه العديدة التي سبق الإشارة إليها، ونحن كمسلمين نقول إن الخالق العظيم هو الذي يتحكم ويحكم هذه الدورة لحفظ التوازن والبقاء على الأرض، فسبحان ربك رب العزة عما يصفون، وصدق الحق حين يقول: ﴿ إِنَّمَآ أَمْرُهُۥٓ إِذَآ أَرَادَ شَيْـًٔا أَن يَقُولَ لَهُۥ كُن فَيَكُونُ ﴾ (يس: 82). ﴿ يَعْلَمُ مَا يَلِجُ فِى ٱلْأَرْضِ وَمَا يَخْرُجُ مِنْهَا وَمَا يَنزِلُ مِنَ ٱلسَّمَآءِ وَمَا يَعْرُجُ فِيهَا ۚ وَهُوَ ٱلرَّحِيمُ ٱلْغَفُورُ ﴾.

(سبأ: 2)

2-2: الماء في الغلاف الجوي

2-2-1: الغلاف الجوي:

سبق أن أوضحنا في الباب الأول أن الكرة الأرضية تُقسم طبيعيًا إلى أربعة أغلفة كروية هي الغلاف الجوي، الغلاف المائي، الغلاف اليابس، وجوف أو لب الأرض الذي تغلفه الأغلفة الثلاثة الأولى.

والغلاف الجوي (atmosphere) هو عبارة عن الغلاف الغازي المغلف للكرة الأرضية، أي أنه يُمثل النطاق الخارجي للأرض، ويمتد فوقها إلى ارتفاع يبلغ حوالي 800كيلو متر، والنطاق الخارجي للغلاف الجوي يسمى بالأكسوسفير وهنا يتضاءل الغلاف الغازي للأرض تدريجيًا حتى يصل إلى الفضاء الخارجي الخالي من كميات ملحوظة من الغازات، ويستمر الأكسوسفير إلى ارتفاعات بعيدة جدًا، وتشير المعلومات المتوفرة حتى الآن إلى أن المسافة بين الأرض والشمس تبلغ حوالي 150 مليون كيلو متر (93 مليون ميل).

ويعتقد العلماء أن الغلاف الجوي تكون نتيجة لتصاعد المحتويات الغازية لمادة الشهب المكونة للسديم (الكتلة المتوهجة التي نشأت منها الكرة الأرضية) بالإضافة إلى اجتذاب بعض المحتويات الغازية الثقيلة نحو الأرض بفعل الجاذبية، وكان تركيب هذا الغلاف الجوي في بداية نشأة الأرض مختلفًا عن تركيبه الحالي، والذي وصل إلى درجة واضحة من الثبات حاليًا خاصة في الطبقة القريبة من سطح الأرض.

ويرجع ثبات تركيب الغلاف الجوي قرب سطح الأرض إلى استمرار عملية الانتشار للغازات الأساسية الأربعة المكونة له، ويبين الجدول التالي متوسط تركيب الهواء الجوي.

جدول (3): التركيب الغازي للغلاف الجوي

اسم الغاز	النسبة المئوية بالحجم
نتروجين	78.1
أكسجين	20.9
أرجون	0.9
ثاني أكسيد الكربون	0.03
بخار ماء وغازات أخرى	0.88
المجموع	٪100

ويحتوي الغلاف الجوي بالإضافة إلى الغازات الأساسية الأربعة، غازات أخرى مثل الهيدروجين، الميثان، بخار الماء، أمونيا وأكاسيد نيتروجين، أوزون، نيون، هيليوم، وأيضًا مواد صلبة معلقة.

وترجع أهمية الهواء إلى:

1- التأثير الكيميائي لبعض العناصر المكونة له في صخور ومعادن الغشاء اليابس.

2- بسبب ميعة الهواء وسهولة حركته من جراء تغير الحرارة والضغط فإنه يؤدي لتكوين الرياح والسحب والأمطار.

3- الأكسجين الموجود في الهواء ضروري للتنفس وإتمام العمليات الحيوية في الأحياء، وضروري لعمليات الاحتراق.

4- ثاني أكسيد الكربون يمتص جزء من الإشعاعات الطويلة الصاعدة من سطح الأرض ويلطف من عمل الأكسجين وينظم عمليات الأكسدة والاحتراق.

5- غاز الأوزون يقلل من كمية الأشعة الساقطة من الشمس على سطح الأرض. خاصة الأشعة فوق البنفسجية بحيث تصلنا بالقدر اللازم للحياة.

6- بخار الماء هو أساس الدورة المائية الأرضية، فهو المسئول عن تكوين السحب والأمطار والثلوج وهو ينظم درجة الحرارة على سطح الأرض، ويمتص الأشعة طويلة الموجة (تحت الحمراء) الواصلة إلى سطح الأرض مما يعمل على انتشار الحرارة على السطح.

الخواص الطبيعية للغلاف الجوي:

1- يتميز الغلاف الجوي بأنه قابل للانتشار والتحرك في كل الفراغات المتاحة.

2- له خاصية انتقال الصوت خلاله.

3- رديء التوصيل للتيار الكهربائي.

4- يخضع الغلاف الجوي لقانون بويل:

$$\left\{\frac{V_o}{V} = \frac{P}{Po}\right\}_T$$

أي أن حجم كمية معينة من الهواء تتناسب عكسيًا مع الضغط الواقع عليها بشرط أن تظل درجة الحرارة ثابتة.

5- يخضع الغلاف الجوي لقانون شارل:

$$\left\{\frac{V_o}{V} = \frac{To}{T}\right\}_P \qquad \left\{\frac{Po}{P} = \frac{To}{T}\right\}_V$$

أي أن حجم كمية معينة من الهواء تتناسب طرديًا مع درجة الحرارة المطلقة بشرط أن يظل الضغط ثابتًا، وكذلك ضغط كمية معينة من الهواء يتناسب طرديًا مع درجة الحرارة المطلقة بشرط أن يظل الحجم ثابتًا.

6- يخضع الغلاف الجوي إلى القانون العام للغازات:

$$PV = RT$$

حيث P= الضغط، V = الحجم، T= درجة الحرارة المطلقة، R= ثابت يتغير بتغير الغاز ويساوي:

$$R = \frac{R^*}{M} T$$

حيث R^* هو الثابت العام للغازات ويساوي 8.314×10^7 إرج،

M هو الوزن الجزيئي للغازات وهو في حالة الهواء الجاف يساوي 28.97.

ولذلك فالصورة العامة للقانون العام للغازات يمكن كتابتها على الشكل التالي:

$$P = \rho \times \frac{R^*}{M} \times T$$

حيث ρ هي كثافة الغاز، ومعروف أن الحجم النوعي للغاز هو مقلوب كثافة الغاز:

$$V = \frac{1}{P}$$

ومما سبق يمكن إثبات أن الهواء الجاف أثقل من الهواء المشبع حيث نجد أن:

$$\frac{\rho_s}{\rho_d} = \frac{M_s}{M_d}$$

ρ_S= كثافة الهواء المشبع، ρ_d= كثافة الهواء الجاف.

M_d= الوزن الجزيئي للهواء الجاف ويساوي 28.97

M_S= الوزن الجزيئي للهواء المشبع ببخار الماء $(H_2O)_2$ وهو يساوي 18.

وبذلك نحصل على:

$$\frac{\rho_s}{P_d} = \frac{M_s}{M_d} = \frac{18}{28.97} = \text{تقريبًا} \quad \frac{5}{8}$$

أن الهواء المشبع ببخار الماء أخف كثيرًا من الهواء الجاف وعلى هذا نجد أن السحب معلقة في السماء.

7- معدل تغير درجات الحرارة للغلاف الجوي: مع الارتفاع في المنطقة القريبة من سطح الأرض حتى بعد حوالي 18 كيلو متر والتي تُسمى بالتروبوسفير يبرد الهواء تبريد ذاتي (adiabatic cooling).

وينخفض درجة حرارة الغلاف الجوي في هذه الطبقة كلما إرتفعنا إلى أعلى بمعدل يساوي:

$$\frac{dt}{dz} = 10C^o / 1\ km$$

أ- بالنسبة للهواء الجاف:

أي: نقص في درجة الحرارة يعادل عشرة درجات مئوية لكل ارتفاع يعادل واحد كيلو متر.

ب- بالنسبة للهواء المشبع ببخار الماء:

$$\frac{dt}{dz} = 6.5C^{o} / 1\ km$$

أي نقص في درجة الحرارة يعادل 6.5 درجة مئوية لكل كيلو متر.

طبقات الغلاف الجوي:

هناك تقسيمات عديدة للغلاف الجوي إلى طبقات حسب الكثافة أو درجة الحرارة، ولكن لا توجد حدودًا مميزة واضحة بين طبقات الغلاف الجوي هذه والفضاء الكوني الخارجي.

ويمكن تقسيم الغلاف الجوي للأرض إلى عدة نطق أو طبقات من أسفل إلى أعلى كما يلي:

1- **التروبوسفير Troposphere:**

2- تقع هذه الطبقة فوق سطح الأرض مباشرة ويختلف سمكها على حسب خطول الطول والعرض، فارتفاعها عند القطبين من 6-8 كيلو متر، وعند خط الاستواء حوالي 18 كيلو متر، أما في المناطق المعتدلة يصل سمكها إلى حوالي 12 كيلو متر. وتتغير هذه الارتفاعات بتغير فصول السنة وتغير الضغط الجوي، وتحتوي هذه الطبقة على حوالي 80٪ من كتلة الغلاف الجوي.

وتحدث معظم الظواهر الجوية داخل هذه الطبقة بسبب توافر الرطوبة وبخار الماء، وفيها تهب الرياح وتتكون السحب والأمطار والعواصف والتيارات الصاعدة والبرق

والرعد، وذلك لإمكان تحول الماء لصوره الثلاثة وهي الحالة الغازية (بخار الماء) والحالة السائلة والحالة الصلبة (الثلج).

وفي هذه المنطقة تنخفض درجة الحرارة كلما ارتفعنا إلى أعلى كما سبق توضيحه، وأيضًا تتميز هذه الطبقة بانخفاض الضغط الجوي مع الارتفاع.

2- الاستراتوسفير (Stratosphere):

وتمتد هذه الطبقة إلى ارتفاع يعادل من 30-50 كيلو متر من سطح البحر، ولا تحتوي سحب ولكن قد يحدث بها العواصف والزوابع التي تؤثر على طبقة التروبوسفير. وتتميز هذه الطبقة بارتفاع درجة الحرارة كلما صعدنا إلى أعلى، وفي الجزء العلوي منها يتركز غاز الأوزون، ويقل الضغط، وتقل الغازات في طبقة الاستراتوسفير بالارتفاع إلى أعلى.

3- الميزوسفير (Mesosphere):

وتمتد هذه الطبقة من ارتفاع ما بين حوالي 50 إلى 80 كيلو متر، وفيها تتناقص درجات الحرارة للغلاف الجوي كلما ارتفعنا إلى أعلى. وينعدم في هذه الطبقة بخار الماء وتسود الرياح الشديدة التي تصل سرعتها إلى حوالي 150 متر/ ثانية.

4- الثرموسفير (Thermosphere):

أو منطقة الغلاف الجوي عند ارتفاعات ما بين حوالي 80-600 كيلو متر، وفي هذه الطبقة ترتفع درجات الحرارة مع الارتفاع إلى أعلى حتى تصل إلى حوالي 1000-1500 درجة مئوية، وبسبب هذه الحرارة العالية يحدث تغير جذري في صفات الغلاف الجوي، فتزداد نسبة الأيونات، ولذلك تسمى هذه الطبقة أحيانًا بالأيونوسفير *Ionosphere*. وتنقسم هذه الطبقة إلى طبقات من الغازات المتأنية (حوالي ثلاثة أو أربع طبقات) تعكس موجات الراديو والموجات القصيرة والمتوسطة والطويلة.

5- الأكسوسفير (Exosphere):

أي النطاق الخارجي للغلاف الجوي، حيث يتضاءل الغلاف الجوي للأرض تدريجيًا حتى يصل إلى الفضاء الخارجي (الفراغ اللانهائي) الخالي من كميات ملحوظة من الغازات، ويوجد في هذه الطبقة الأيدروجين والهيليوم وقد تصل فيها درجة الحرارة إلى حوالي 5550 درجة مئوية، وتستمر طبقة الأكسوسفير إلى ارتفاعات بعيدة جدًا، والمعلومات عنها مازالت نادرة.

وكل ما يمكن أن نقيسه من صفات الهواء الجوي الطبيعية، أو نقدره أو حتى نصفه بدقة عملية يسمى عنصرًا جويًا، وهذه العناصر الجوية هي التي تحدد حالة الطقس (weather- وهو الحالة المؤقتة للجو في فترة زمنية في حدود يوم على الأكثر)والمناخ (climate-هو الحالة الجوية لفترة طويلة من الزمن (لسنوات)) لمكان ما.

وأهم العناصر الجوية هي:

درجة الحرارة - الرياح- الضغط الجوي- الرطوبة- السحب- مقدار الهطول ونوعه- حالة الجو عمومًا من حيث تواجد العواصف من عدمه- مدى الرؤية ودرجة شفافية الهواء الجوي.

والغلاف الجوي للأرض له دور مهم جدًا في حفظ الحياة عليها من خلال:

1- فيه يتكاثف بخار الماء في صورة سحب يسقط منها الماء الضروري لحياة جميع الأحياء، وذلك بعد استقباله لبخار الماء الصاعد من الأرض.

2- في الغلاف الجوي يتوفر الغازات الضرورية للحياة، من أوكسجين لازم لتنفس الأحياء ويساعد على الاحتراق، ومن ثاني أكسيد الكربون الضروري للبناء الضوئي للنباتات، وأيضًا بخار ماء أساس الدورة المائية.

3- يعمل الغلاف الجوي على حفظ التوازن الحراري على سطح الأرض بحيث تظل درجة الحرارة مناسبة لحياة جميع الأحياء، فهو يقلل الحرارة المكتسبة من اشعة

الشمس نهارًا وفي نفس الوقت يقلل من الحرارة المفقودة من الأرض ليلًا بالإشعاع الحراري الأرضي.

وبذلك تبقى درجة الحرارة على الأرض في الحدود المثلى لنمو الأحياء، ويقل المدى الحراري بين الليل والنهار.

2-2-2: الرطوبة الجوية والتكاثف والتساقط

أوضحنا فيما سبق أن الماء يمكن أن يوجد طبيعيًا على صورة سائلة أو صلبة أو غازية، وأنه يتحول من صورة إلى أخرى بتغير درجة حرارته.

وينتشر الماء في الغلاف الجوي في أي صورة من الصور الثلاث بنسب متباينة تتفاوت حجمًا من صفر إلى حوالي 5٪ حسب المكان وحالة الجو، وكلما ازدادت نسبة الماء في الغلاف الجوي أي ارتفعت نسبة الرطوبة الجوية تقترب من حالة التشبع.

ويمكن تعريف الرطوبة الجوية (Humidity) بأنها مقدار بخار الماء (الصورة الغازية من الماء) الموجود في الجو (water vapour).

ولا يخلو الغلاف الجوى من بخار الماء، وبالرغم من صغر كمية بالنسبة لوزن الهواء الجوى فإن لوجوده أهمية عظمى في كثير من ظواهر الجو.

وأهم مصدر لبخار الماء في الجو هو ما يتبخر من مياه المحيطات والبحار والمسطحات المائية الأخرى، وما يتبخر من مياه يعود ليتكثف مره أخرى ويسقط في صورة هطول لتبدأ الدورة المائية الأرضية من جديد كما أوضحنا من قبل.

ويمكن التعبير عن الرطوبة الجوية بطرق عديدة أهمها:-

- **الرطوبة المطلقة:** وهى عبارة عن كتلة بخار الماء بالجرامات الموجودة فعلًا في متر مكعب من الهواء، أو ضغط بخار المؤثر على وحدة المساحة.

- **الرطوبة النوعية**: وهى عبارة عن وزن بخار الماء بالجرامات في كيلو جرام واحد من الهواء الرطب.

- **الرطوبة النسبية** (relative humidity): وهى نسبة كتلة بخار الماء الموجودة فعلًا في حيز معلوم من الهواء في درجة حرارة معلومة إلى كتلة بخار الماء الذي يشبع نفس الحيز في نفس درجة الحرارة وتحت نفس الظروف، أو هي خارج قسمة ضغط بخار الماء الفعلي على أقصى ضغط له (الضغط المشبع) في نفس درجة الحرارة.

ويتساوى ضغط بخار الماء الفعلي في الجو مع ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة تسمى نقطة الندى.

ونجد أن ضغط بخار الماء المشبع يزداد بارتفاع درجة الحرارة والعكس صحيح. فكلما ارتفعت درجة حرارة الهواء استوعب الهواء كمية أكبر من بخار الماء دون الوصول لحالة التشبع، ولذلك يكون الهواء جاف في المناطق القطبية الباردة حيث تصل درجة الحرارة إلى 50° م ولا يستوعب الهواء أكثر من 0.03 جم/ م^3. في حين أن الهواء في المناطق الحارة يستوعب بخار ماء أكثر، ففي درجة حرارة تُعادل 30م يحتاج الهواء إلى 30جم/ م^3 بخار ماء ليصل إلى التشبع.

والماء الموجود في الجو يؤثر على الرطوبة النسبية بالتالي يلعب دورًا واضحًا في التأثير على الطقس.

التكاثف «التكثيف» (Condensation):

وهو عبارة عن عملية تحويل بخار الماء الموجود في الجو من حالته الغازية غير المرئية إلى حالته السائلة، ويصحب ذلك انطلاق الحرارة الكامنة للبخر، وأهم الصور المألوفة للتكاثف في الجو هي:

1 – الضباب والشابورة. 2 – الندى. 3 – المطر.

4 – البرد. 5 – الثلج. 6 – الصقيع.

7 – السحب.

ويطلق على كلٍّ من المطر والبرد والثلج اسم الهطول (precipitation)، لأنها تتساقط أو تهطل من السماء منفردة أو مصحوبة ببعضها، ويحدث عادة تكاثف لبخار الماء في الجو إذا:

1 – وصل الهواء لدرجة التشبع فيميل للتخلص من البخار الزائد.

2 – توفرت نويات التكاثف.

ويمكن الوصول بالهواء إلى حالة التشبع في الطبيعة عن طريق:

1 – زيادة كمية بخار الماء في الهواء، إذا مر هواء بارد على سطح مائي (بحار ومحيطات مثلًا) ساخن.

2 – تبريد الهواء إلى درجة أقل من نقطة الندى، ويحدث التبريد بأي من الطرق الآتية:

أ – **تبريد الهواء بالتوصيل**: وذلك عندما يمر هواء رطب دافئ على سطح بارد، وينتج عن ذلك تكاثف محدود في صورة ضباب أو ندى أو صقيع.

ب – **تبريد الهواء بالخلط**: وذلك عندما تختلط كميتان من الهواء أحدهما ساخنة والأخرى باردة والرطوبة النسبية لهما قريبة من التشبع، وينتج عن ذلك تكاثف محدود في صورة ضباب الخلط.

جـ – التبريد الذاتي «الإدباتيكي» للهواء (Adiabatic cooling):

وينتج عنه تكاثف مستمر في صورة سحاب، وذلك عندما تصعد كمية من الهواء رأسيًا إلى أعلى في الجو فتتمدد بسبب انتقالها لمستويات ذات ضغط أقل باستمرار،

وعندما تتمدد تحتاج إلى طاقة وبذلك تتناقص طاقتها الداخلية وتقل التصادمات بين ذراتها لازدياد سعة الفراغ الذي يحتله الهواء فتبرد هذه الكتلة ذاتيًا لأن سرعة صعود هذا الهواء إلى أعلى لا تتيح له فرصة التأثر بالهواء المحيط، أي يمكن اعتباره معزولًا حراريًا. فمعنى ذلك أن هذا التبريد يحدث بدون أن نعطيه أو نأخذ منه حرارة، وجميع التغيرات التي تحدث في الغلاف الجوي في المنطقة القريبة من سطح الأرض (التروبوسفير) يكون التغير فيها ذاتيًا.

ويسمى معدل التبريد لذلك بمعدل التبريد الذاتي، وهو كما سبق ذكره يعادل 10°م/ كم بالنسبة للهواء الجاف و 6.5°م/ كم بالنسبة للهواء المشبع ببخار الماء (أي الهواء الرطب المشبع).

* أما نويات التكاثف فهي حبيبات متناهية في الصغر تعمل على تجميع جزئيات بخار الماء لتكوين نقط مائية، أي أن لها دورًا ضروريًا في عملية تكاثف بخار الماء، لأنه من الثابت علميًا أن أصغر نقط الماء حجمًا يلزمها ما يزيد على 100 جزئ على الأقل من بخار الماء، وليس من السهل تجميع مثل هذا العدد إلا إذا تواجد ما يجذب هذه الجزئيات ويبقيها متماسكة، وهذا هو عمل نويات التكاثف.

ويتفق علماء الطبيعة الجوية على أنه لا يشترط أن تكون جميع نويات التكاثف من مادة واحدة، ولكن المهم أن تتوفر فيها صفة التميع، أي القدرة على جذب الماء جذبًا كيماويًا، كما أن العمليات التي تتيح هذه النويات لابد أن تعمل باستمرار وهناك نظريتان ترجح كلا منهما المصدر الرئيسي لنويات التكاثف بالجو وهما:

- **النظرية الأولى**: تقول أن نويات التكاثف هي نويات حامضية. فحامض الازوتوز يمكن أن يتكون في الجو من الازوت والأكسجين وبخار الماء بفعل البرق والتأين الذي تسببه الأشعة الكونية والمواد المشعة، أو بمساعدة غاز الأوزون كعامل

مؤكسد. كما أن حامض الكبرتيك ممكن أن يتكون أيضًا في الجو، حيث دخان الفحم والبترول المتصاعد من الأرض إلى الجو يحتوي كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكبريت، الذي يتأكسد في الجو بفعل ضوء الشمس، فيتحول إلى ثالث أكسيد الكبريت الذي يتفاعل مع الماء في الجو (يتميع) لتكوين فطيرات من حامض الكبرتيك.

- **النظرية الثانية**: تقول أن نويات التكاثف هي نويات ملحية، فقد ثبت أن نسبة الكلوريد في قطرات المطر تكاد تكون ثابتة في جميع أنحاء العالم، حيث أن جزئيات الماء التي تترك سطح المحلول الملحي لمياه البحار والمحيطات أثناء عملية التبخر في درجات الحرارة العادية تحمل معها كميات ضئيلة جدًا من الملح، واستمرار هذه العملية يهيئ مصدرًا مستمرًا للنويات الملحية، ولا شك أن ترجيح هذه النظرية أقرب إلى الصواب.

ومن أهم المصادر الأخرى المساعدة على توفير نويات التكاثف بالجو ما يلي:

الشوائب الناتجة من دخان المصانع -الجراثيم وحبوب اللقاح المتطايرة في الجو - نواتج احتراق الأخشاب وأنواع الوقود المختلفة - جزئيات حطام الشهب - ذرات الغبار والرمال الدقيقة المعلقة في الجو - الغبار الناتج من التجارب الذرية - ذرات المواد العضوية المتطايرة من مخلفات الإنسان والنبات والحيوان.

وعمومًا فإن نويات التكاثف الصلبة تكون أفضل لتجمع الثلج داخل السحاب، ولذلك تُسمى بنويات التسامي وتتكون هذه عاده من الأتربة والحبيبات الصلبة المعلقة في الهواء الجوي.

صور التكاثف:

1- الندى (Dew):

وهو عبارة عن قطرات مائية صغيرة تظهر في الصباح الباكر على أسطح الأجسام الباردة القريبة من سطح الأرض، وهو يتكون عندما تهبط درجة حرارة الهواء الملامس

لسطح الأرض إلى ما دون نقطة الندى، فيؤدي ذلك إلى تكاثف جزء من بخار الماء الذي يحتويه الهواء، ويساعد على تكوين الندى صفاء السماء وخلوها من السحب لأن ذلك يسهل تسرب الإشعاع الأرضي، كذلك يساعد على تكونه الجو الهادئ الخالي من الرياح التي تسبب خلط الهواء.

والندى يعتبر من مصادر المياه ويكثر بالقرب من السواحل، وكميته في المنطقة الشمالية لمصر التي تصل فعلًا لسطح الأرض أكثر من 100مم/ سنة، ويسقط أساسًا خلال الأشهر الغير ممطرة، ويمكن أن تستخدمه النباتات كمصدر لمياه الري اللازمة لها. فهذا الندى صالح للامتصاص خاصة بالنسبة للنباتات سطحية الجذور، وهو يجعل رطوبة التربة في الطبقات السطحية حتى عمق حوالي 50سم أعلى من نقطة الذبول ويوفر مصدرًا للماء الميسر للنبات.

وأنا أرى أن الندى هو المقصود في القرآن الكريم بلفظ «الطل» في الآية الكريمة رقم (265) من سورة البقرة.

﴿وَمَثَلُ ٱلَّذِينَ يُنفِقُونَ أَمْوَٰلَهُمُ ٱبْتِغَآءَ مَرْضَاتِ ٱللَّهِ وَتَثْبِيتًا مِّنْ أَنفُسِهِمْ كَمَثَلِ جَنَّةٍۭ بِرَبْوَةٍ أَصَابَهَا وَابِلٌ فَـَٔاتَتْ أُكُلَهَا ضِعْفَيْنِ فَإِن لَّمْ يُصِبْهَا وَابِلٌ فَطَلٌّ ۗ وَٱللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ بَصِيرٌ﴾ (البقرة:٢٦٥)، والطل في اللغة: المطر الخفيف يكون له أثر قليل.

2- الشابورة (mist)، والضباب (fog):

الشابورة عبارة عن قطرات مائية صغيرة متعلقة في الهواء يتسبب عنها هبوط مادي الرؤية بحيث لا يقل عن ألف متر، أما الضباب فهو قطيرات مائية صغيرة عددها كبير متعلقة في الهواء ويتسبب عنها هبوط مدى الرؤية إلى أقل من ألف متر، ويتكون الضباب والشابورة عندما تنخفض درجة حرارة الهواء كله بفعل الإشعاع الحراري الأرضي أثناء الليل إلى ما دون نقطة الندى، وعندئذ يحدث تكاثف لبخار الماء حول نويات التكاثف المنتشرة في الجو، ويساعد في ذلك ارتفاع نسبة الرطوبة وصفاء السماء وهدوء الجو.

3- **الصقيع (frost)**:

وهو عبارة عن جليد يكسو الأجسام الصلبة القريبة من سطح الأرض عندما تنخفض درجة الحرارة أو نقطة الندى عن نقطة التجمد أو الصفر المئوي، فتتكاثف أبخرة المياه العالقة في الجو إلى الثلج مباشرة.

ويساعد الجو الهادئ والسماء الصافية على تكوينه بشرط تبريد سطح الأرض إلى أقل من نقطة الجليد، ويظهر الصقيع في مناطق عديدة في العالم عندما ينخفض درجة الحرارة خاصة ليلًا.

ويتسبب الصقيع في إتلاف النباتات، لأنه يتسبب في قتل النباتات بتمزيق أليافها عند تجمد العصارة النباتية وازدياد حجمها بهذا التجمد، ويتسبب في سحب المياه من داخل الخلايا الحية ويرسب البروتينات، وهذا يمنع أو يضعف من مقدرة جذور النبات على امتصاص المياه من التربة. ولكن للصقيع تأثيره المفيد في حالة أشجار الفاكهة المتساقطة الأوراق كالتفاح والخوخ والكمثرى والبرقوق، إذ تحتاج هذه الأشجار لنجاح نموها وإثمارها إلى دور سكون في الشتاء، ودرجات من الحرارة المنخفضة أثناء ذلك تفيد كثير عند النمو في الربيع

4- **السحاب (Clouds)**:

السحاب عبارة عن قطيرات مائية صغيرة عددها كبير (ضباب) تتكون بعيدًا عن سطح الأرض، أو بلورات جليد أو كليهما، حيث إن مكونات السحب (خاصة الركامية) هي:

- نقط ماء نامية، عندما تكون درجة حرارة السحابة ما بين 5° م إلى صفر مئوي.

- نقط ماء فوق مبردة، وذلك عندما تكون الدرجة حرارة السحابة ما بين صفر مئوي و -12° م.

- بلورات ثلج، عندما تكون درجة الحرارة حوالي - 30°م، عند درجة حرارة ما بين - 12°م إلى - 40°م تتكون السحب من قطيرات ماء فوق مبرده وبلورات جليد تعيش جنبًا إلى جنب، وعند درجة حرارة أقل من - 40°م تتكون السحب من بللورات جليد فقط.

وتتكون السحب عندما تنخفض درجة حرارة الهواء الجوي بفعل التبريد الذاتي إلى ما دون نقطة الندى مع توافر شرطين هما:

1 - أن يكون الهواء محتويًا على كمية كافية من بخار الماء.

2 - أن يكون الهواء محتويًا على عدد كافٍ من نويات صالحة لتكاثف أو تماسك مكونات السحب.

* والسحاب يسبح في السماء لأن الهواء المشبع كما سبق توضيحه أقل كثافة من الهواء الجاف وأيضًا لأن تيارات الهواء الصاعدة تعمل على حمل السحب، حتى يأذن الله لها بأن تسوق المطر إلى الأرض التي يأذن الله لها بالحياة، وصدق الحق تبارك وعلا حين قال:

﴿ ٱللَّهُ ٱلَّذِى يُرْسِلُ ٱلرِّيَٰحَ فَتُثِيرُ سَحَابًا فَيَبْسُطُهُۥ فِى ٱلسَّمَآءِ كَيْفَ يَشَآءُ ﴾ (الروم: 48).

ويقول أيضًا: ﴿ وَتَرَى ٱلْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِىَ تَمُرُّ مَرَّ ٱلسَّحَابِ ۚ صُنْعَ ٱللَّهِ ٱلَّذِىٓ أَتْقَنَ كُلَّ شَىْءٍ ۚ إِنَّهُۥ خَبِيرٌۢ بِمَا تَفْعَلُونَ ﴾ (النمل: 88).

وهناك تأثير متداخل ومستمر بين العناصر الجوية المختلفة من درجة حرارة، ضغط جوي، رطوبة جوية، رياح، سحب، وأمطار.

ويرتبط توزيع الرياح على الكرة الأرضية (الدورة العامة للرياح) طوال العام بتوزيع مناطق الضغط الجوي (المرتفعة والمنخفضة) والتي تتأثر بتوزيع درجات الحرارة وتوزيع اليابس والماء على سطح الأرض.

والغلاف الجوي له ضغط جوي هو عبارة عن وزن عمود الهواء المؤثر على وحدة المساحة من سطح الأرض وينتج عن الاختلاف في درجات الحرارة على سطح الأرض (بسبب الموقع الجغرافي والتضاريس وتوزيع اليابس والماء) اختلافات في الضغط الجوي، ويرتبط توزيع الرياح على الكرة الأرضية بتوزيع الضغط الجوي.

وتتحرك الرياح من مناطق الضغط الجوي المرتفع، عادة على جانبي خط الاستواء عند خط عرض حوالي 30° وعلى المحيط الأطلنطي والهندي والباسفيكي وسيبيريا، إلى مناطق الضغط الجوي المنخفض، على خط الاستواء وفي أقصى شمال وجنوب الكرة الأرضية.

وتتوقف سرعة الرياح على مقدار انحدار الضغط الجوي، ووزن الكتل الهوائية. والأخير يحدده درجة الحرارة ونسبة الرطوبة، لأن الهواء الساخن أخف أو أقل كثافة من الهواء البارد، والهواء المشبع (الرطب) أقل كثافة من الهواء الجاف (أي الأقل رطوبة)، وفي كل الأحوال فإن الرياح تعمل على خلط الكتل الهوائية بالجو وبذلك تساعد في تكوين السحب وأيضًا إمدادها بنويات التكاثف (تلقيح السحب كما وصف القرآن الكريم، كما نوضح فيما بعد).

وبذلك تؤثر الرياح في درجات الحرارة ودرجة التشبع بالماء داخل السحاب، ثم تؤثر السحب على توزيع الحرارة في الغلاف الجوي من خلال الطاقة الحرارية المكتسبة أو المفقودة عند تحول الماء داخل السحابة من صوره إلى أخرى.

والسحاب الذي يبدو للناظر وكأنه جسم ثابت في الجو هو في الواقع عبارة عن جسم تتجدد مكوناته بصفة مستمرة، نتيجة لعملية التبخر على سطحه الخارجي وعملية التكاثف بداخلة. كما أن مكونات السحب في حركة دائمة بسبب اختلافات الضغط ودرجة الحرارة والرياح ونسبة الرطوبة وغيرها.

تقسيم السحب:

تُقسم السحب حسب شكلها أو ارتفاعها عن سطح الأرض إلى:

1 - **سحب عالية:** وهي التي يزيد علوها عن سطح الأرض عن 6 كيلو مترات وتتولد في طبقات التروبوسفير الوسطي والعليا. ومكوناتها بللورات من الثلج، ولذلك فهي لا تحجب قرص الشمس.

ومن أنواعها:

- **السمحاق:** وهي سحب متقطعة حريرية شفافة نوعًا بيضاء اللون لا ترمي ظلًا، وظهورها يدل على اقتراب موجة دافئة في الشتاء أو حارة في الربيع، وهي تظهر في مجموعات أغلبها على شكل خيوط مستقيمة أو ملتوية، ولا يسقط عنها هطول.

- **السمحاق الطبقي:** سحب تظهر في شكل طبقة متصلة سميكة نسبيًا تغطي أغلب السماء بلون اللبن، وهي لا تحجب قرص الشمس أو القمر عند النظر، ويحاط القرص معها بهالة من نور.

- **السمحاق الركامي:** وتتميز بأنها على شكل كريات صغيرة بيضاء تظهر في صفوف متراصة غالبًا، وأحيانًا تأخذ الشكل المتموج المشابه لأمواج الرمال على شواطئ البحار في منطقة المد والجزر.

2 - **سحب متوسطة الارتفاع:** ويقل ارتفاع القاعدة فيها عن السحب العالية، وتتواجد على ارتفاع 2-6 كم من سطح الأرض. ومكوناتها بللورات من الثلج مع نقط من الماء، ومن أنواعها:

- **الركام المتوسط:** وهي في صورة كتل كروية الشكل تعطي ظلًا إذا كانت سميكة، وتظهر في صفوف متراصة أو على شكل أمواج، ومنها أيضًا ما يتميز بسطحه العلوي القلعي الشكل، وهو دليل على عدم استقرار الجو ويسبق اقتراب عواصف الرعد واقترب الموجة الباردة.

- **الطبقي المتوسط**: وهي سحب رمادية أو زرقاء اللون تظهر على شكل طبقة متصلة تغطي أغلب السماء، وتحجب الشمس إذا كانت سميكة، أما إذا كانت رقيقة فإنها يمكن رؤية الشمس أو القمر خلالها ويكون القرص محاطًا بشبه أكليل فيه ألوان الطيف المرئي متداخلة، وهذه السحب دليل على الجو الدافئ.

ومن أنواع السحب المتوسطة ما يأخذ شكل العدسات المجمعة وتسمى سحب عدسية، أو يأخذ شكل الأطباق وهي ما يسميها الناس خطأ بالأطباق الطائرة.

ويجوز أن يتساقط المطر أو الثلج من السحب المتوسطة إلا أن أغلبه يتبخر قبل وصوله إلى سطح الأرض.

3- **سحب منخفضة**: وقاعدة السحابة فيها على ارتفاع أقل من 2 كيلو متر وقد تصل قواعدها أحيانًا لسطح الأرض، خاصة في المناطق الجبلية، وأغلب مكوناتها نقط من الماء وقد يتواجد الثلج في قمتها، ومن أنواع السحب المنخفضة ما يلي:

- **الركام**: وهي سحب تظهر في صورة كتل متفرقة تنمو رأسيًا وقممها محددة المعالم أشبه بالقباب وقواعدها مسطحة أفقية صغيرة. ولونها يختلف من الرمادي أو الداكن المعتم في القاعدة إلى الأبيض عند القمة، وعندما تنمو هذه السحب رأسيًا تعرف باسم الركام ذو السندان أو السحاب السنداني.

- **الركام المزني**: وهي كتل ضخمة من السحب الكثيفة المنخفضة ذات النمو الرأسي الملحوظ، وتأخذ شكل القباب أو القلاع الشامخة. وقد تلتحم ببعضها في صف متصل فتظهر على شكل الحائط العالي الكثيف، ويميل لون قاعدتها إلى اللون القاتم الشديد، وسحب الركام المزني من السحب الممطرة التي تكون غالبًا مصحوبة بعواصف رعدية، وقد يكون الهطول منها في صورة مطر أو ثلج أو شرائع ثلجية أو خليط منها.

- **المزن الطبقي**: وهو سحب طبقية منخفضة تغطي أغلب السماء، وتحجب قرص الشمس والقمر تمامًا بسبب كثافتها حيث يصل سمكها أحيانًا إلى 1800 متر، ولونها رمادي غامق وتتساقط منها الأمطار والثلوج بصورة غزيرة ومتواصلة، وتعتبر من غيوم الطقس الرديء.

- **الركام الطبقي**: وهي سحب رمادية اللون أو تميل إلى اللون الأبيض أو خليط منهما تبعًا لدرجة كثافتها، وغالبًا ما تميل في بعض أجزائها إلى اللون القاتم، ويكون شكلها طبقي مربع أو كروي أو تظهر في شكل تموجي، وهي عادة بها فجوات يمكن أن نرى من خلالها زرقة السماء، وهي لا يسقط عنها هطول أو يسقط عنها هطول خفيف.

- **الطبقي**: وهي سحب رمادية اللون على شكل الضباب الملامس لسطح الأرض، وعادة لا يصاحبها هطول أو يحدث منها رزاز خفيف على شكل متواصل أو متقطع.

والأمطار التي تصل إلى سطح الأرض عمومًا يكون مصدرها السحب المنخفضة، حيث الأمطار الساقطة من السحب العليا لا يصل أغلبها لسطح الأرض، حيث يفقد بالتبخير في الغلاف الجوي قبل هطوله.

الرياح والسحب والهطول في القرآن

لقد أصبح لدينا الآن بعض المعلومات العلمية الواضحة عن السحب وتأثير الرياح عليها وعن كيفية تراكم السحب ونزول أو هطول الأمطار بأنواعها، وهذه السلسلة من خطوات التكوين والتآلف بين السحب ودور الرياح في عملية التكوين وعملية نزول الماء من السماء، قد وصفها الخالق العظيم سبحانه وتعالى بدقة وبنفس المسميات التي نستعملها الآن للسحب في كثير من آيات القرآن الكريم ومنها:

1- ﴿ أَوْ كَصَيِّبٍ مِّنَ ٱلسَّمَآءِ فِيهِ ظُلُمَٰتٌ وَرَعْدٌ وَبَرْقٌ ﴾ (البقرة: 19).

2- ﴿ وَتَصْرِيفِ ٱلرِّيَٰحِ وَٱلسَّحَابِ ٱلْمُسَخَّرِ بَيْنَ ٱلسَّمَآءِ وَٱلْأَرْضِ لَءَايَٰتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ ﴾ (البقرة: 164)، «**وتصريف الرياح**» أي: تقليب الرياح في جميع الجهات تارة هادئة وتارة عاصفة.

3- ﴿ وَهُوَ ٱلَّذِى يُرْسِلُ ٱلرِّيَٰحَ بُشْرًۢا بَيْنَ يَدَىْ رَحْمَتِهِۦٓ حَتَّىٰٓ إِذَآ أَقَلَّتْ سَحَابًا ثِقَالًا سُقْنَٰهُ لِبَلَدٍ مَّيِّتٍ فَأَنزَلْنَا بِهِ ٱلْمَآءَ فَأَخْرَجْنَا بِهِۦ مِن كُلِّ ٱلثَّمَرَٰتِ كَذَٰلِكَ نُخْرِجُ ٱلْمَوْتَىٰ لَعَلَّكُمْ تَذَكَّرُونَ ﴾ (الأعراف: 57)، فالرياح هنا رحمة وبشرى من الله لأن الرياح سوف يتكون عنها السحاب الذي عندما يثقل وزنه يسقط منه المطر الذي به تُبعث الحياة في الأرض الميتة الجدباء.

4- ﴿ هُوَ ٱلَّذِى يُرِيكُمُ ٱلْبَرْقَ خَوْفًا وَطَمَعًا وَيُنشِئُ ٱلسَّحَابَ ٱلثِّقَالَ ﴾ (الرعد: 12)

5- ﴿ وَأَرْسَلْنَا ٱلرِّيَٰحَ لَوَٰقِحَ فَأَنزَلْنَا مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً فَأَسْقَيْنَٰكُمُوهُ وَمَآ أَنتُمْ لَهُۥ بِخَٰزِنِينَ ﴾ (الحجر: 22)، سبحان الله معروف أن النباتات تزهر وتثمر عندما تصل حبوب اللقاح بمساعدة الرياح من عضو التذكير في النبات إلى البويضة (عضو التأنيث)، وكذلك الرياح تلقح السحب ببخار الماء ونويات التكاثف فتحمل السحابة حملها ثم ينزل هذا الحمل في صورة مطر نازل من السماء فيشرب منه الإنسان والأنعام والنبات.

6- ﴿ أَوْ تُسْقِطَ ٱلسَّمَآءَ كَمَا زَعَمْتَ عَلَيْنَا كِسَفًا ﴾ (الإسراء: 92).

والكسفةُ: القطعة من الشيء وجمعها كِسْف وكِسَف، وكسفَتِ الشمس (كسوفًا) أي: احتجب وذهب ضوءها ويوم كاسف أي: عظيم الهول شديد الشر.

7- ﴿ أَوْ كَظُلُمَٰتٍ فِي بَحْرٍ لُّجِّيٍّ يَغْشَىٰهُ مَوْجٌ مِّن فَوْقِهِۦ مَوْجٌ مِّن فَوْقِهِۦ سَحَابٌ ظُلُمَٰتٌۢ بَعْضُهَا فَوْقَ بَعْضٍ ﴾ (النور: 40).

8- ﴿ أَلَمْ تَرَ أَنَّ ٱللَّهَ يُزْجِي سَحَابًا ثُمَّ يُؤَلِّفُ بَيْنَهُۥ ثُمَّ يَجْعَلُهُۥ رُكَامًا فَتَرَى ٱلْوَدْقَ يَخْرُجُ مِنْ خِلَٰلِهِۦ وَيُنَزِّلُ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مِن جِبَالٍ فِيهَا مِنۢ بَرَدٍ فَيُصِيبُ بِهِۦ مَن يَشَآءُ وَيَصْرِفُهُۥ عَن مَّن يَشَآءُ ۖ يَكَادُ سَنَا بَرْقِهِۦ يَذْهَبُ بِٱلْأَبْصَٰرِ ﴾ (النور: 43).

«يزجي» أي: ينشئها وهي ضعيفة ويرسل سحابا ويسوقه من جهة إلى أخرى بأناة ورفق، ويؤلف بينه أي: يصل بعضه ببعض (سبحان الله كأن هناك علاقة اتحاد وألفة بين السحاب)، يجعله ركامًا أي: يجعل هذا السحاب متراكمًا بعضه فوق بعض، الودق أي: المطر، يخرج من خلاله أي: المطر يخرج من فتوق هذا السحاب المتراكم، البرد أي: قطع صغيرة من قطرات الجليد التي تشبه قطع الحصى الصغير، ثم توضح الآية الكريمة أن الله سبحانه ينزل المطر في مكان ويصرفه عن مكان آخر، فمن يستطيع تحديد وقت ومكان إنزال السحابة للمطر سوى ربنا سبحانه.

9- ﴿ وَهُوَ ٱلَّذِيٓ أَرْسَلَ ٱلرِّيَٰحَ بُشْرًۢا بَيْنَ يَدَيْ رَحْمَتِهِۦ ۚ وَأَنزَلْنَا مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً طَهُورًا ﴾ (الفرقان: 48).

10- ﴿ فَأَسْقِطْ عَلَيْنَا كِسَفًا مِّنَ ٱلسَّمَآءِ إِن كُنتَ مِنَ ٱلصَّٰدِقِينَ ﴾ (الشعراء: 187).

11- ﴿ أَمَّن يَهْدِيكُمْ فِي ظُلُمَٰتِ ٱلْبَرِّ وَٱلْبَحْرِ وَمَن يُرْسِلُ ٱلرِّيَٰحَ بُشْرًۢا بَيْنَ يَدَيْ رَحْمَتِهِۦٓ ۗ أَءِلَٰهٌ مَّعَ ٱللَّهِ ۚ تَعَٰلَى ٱللَّهُ عَمَّا يُشْرِكُونَ ﴾ (النمل: 63).

12- ﴿ وَتَرَى ٱلْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِىَ تَمُرُّ مَرَّ ٱلسَّحَابِ ۚ صُنْعَ ٱللَّهِ ٱلَّذِىٓ أَتْقَنَ كُلَّ شَىْءٍ ۚ إِنَّهُۥ خَبِيرٌۢ بِمَا تَفْعَلُونَ ﴾ (النمل: 88)، جامدة أي: ثابتة، فسبحان الله الذي يصرف ويحرك السحاب.

13- ﴿ ٱللَّهُ ٱلَّذِى يُرْسِلُ ٱلرِّيَٰحَ فَتُثِيرُ سَحَابًا فَيَبْسُطُهُۥ فِى ٱلسَّمَآءِ كَيْفَ يَشَآءُ وَيَجْعَلُهُۥ كِسَفًا فَتَرَى ٱلْوَدْقَ يَخْرُجُ مِنْ خِلَٰلِهِۦ ۖ فَإِذَآ أَصَابَ بِهِۦ مَن يَشَآءُ مِنْ عِبَادِهِۦٓ إِذَا هُمْ يَسْتَبْشِرُونَ ﴾ (الروم: 48)

14- ﴿ وَٱللَّهُ ٱلَّذِىٓ أَرْسَلَ ٱلرِّيَٰحَ فَتُثِيرُ سَحَابًا فَسُقْنَٰهُ إِلَىٰ بَلَدٍ مَّيِّتٍ فَأَحْيَيْنَا بِهِ ٱلْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا ۚ كَذَٰلِكَ ٱلنُّشُورُ ﴾ (فاطر: 9).

15- ﴿ فَسَخَّرْنَا لَهُ ٱلرِّيحَ تَجْرِى بِأَمْرِهِۦ رُخَآءً حَيْثُ أَصَابَ ﴾ (ص: 36).

16- ﴿ وَإِن يَرَوْا۟ كِسْفًا مِّنَ ٱلسَّمَآءِ سَاقِطًا يَقُولُوا۟ سَحَابٌ مَّرْكُومٌ ﴾ (الطور: 44).

17- ﴿ أَفَرَءَيْتُمُ ٱلْمَآءَ ٱلَّذِى تَشْرَبُونَ ﴿٦٨﴾ ءَأَنتُمْ أَنزَلْتُمُوهُ مِنَ ٱلْمُزْنِ أَمْ نَحْنُ ٱلْمُنزِلُونَ ﴾ (الواقعة: 68-69)، والمزن هو: السحاب ذو المطر.

ويحدث بالغلاف الجوي ظواهر جوية مثل البرق والرعد والصواعق، والتي لها علاقة بتواجد كميات مختلفة من بخار الماء والماء السائل والثلج، أري أن أشير إليها هنا ومنها:

البرق والرعد: وهي من ظواهر الطقس المألوفة التي تحدث في الغلاف الجوي في أغلب أجزاء الكرة الأرضية فيما عدا المناطق القطبية، ويكثر حدوثها عندما تتوافر كميات من الرطوبة الجوية مع ارتفاع ملموس في درجة الحرارة.

وينجم الرعد عن تفريغ شحنات كهربائية تتكون داخل السحب وخاصة السحب الركامية، ويتم التفريغ الكهربائي بين أجزاء مختلفة من السحاب أو بين السحاب والأرض، حيث تكون السحاب مشحونة بشحنات موجبة أو سالبة، وبطبيعة الحال

يصحب التفريغ الكهربائي انبعاث شرارات عظمى هي البرق، والذي بدروه يحدث تسخينًا شديدًا وفجائيًا في مناطق الهواء المحيطة فتتمدد كتل الهواء الساخنة فجائيًا وتتولد سلسلة من أمواج التضاغط والتخلخل في الجو المحلي وهو الرعد، والذي من فوائده تثبيت كمية من النيتروجين اللازمة لتغذية النبات، ولقد قُدر عدد العواصف الرعدية التي تحدث في جو الأرض في يوم واحد بأكثر من 40 ألف عاصفة، تستهلك طاقة كهربائية تبلغ ألف مليون كيلو وات ساعة أي ما يعادل الطاقة التي تولدها عدة قنابل ذرية متوسطة.

وقد يتسبب الرعد والبرق في حدوث صواعق كبيرة على الأرض قد تُدمر المباني وتُهلك الناس، وهذا ما حدث في أمم سابقة، كما أشار القرآن الكريم.

ولقد ورد في الكتاب الكريم ذكر البرق والرعد والصواعق، وأنها قد تكون دليل على سقوط المطر فهي إذا رحمة وتكون أحيانًا انتقامًا وتخويفًا من خالق الأرض والسماوات سبحانه وتعالى وذلك كما في قوله:

- ﴿ أَوْ كَصَيِّبٍ مِّنَ ٱلسَّمَآءِ فِيهِ ظُلُمَٰتٌ وَرَعْدٌ وَبَرْقٌ يَجْعَلُونَ أَصَٰبِعَهُمْ فِىٓ ءَاذَانِهِم مِّنَ ٱلصَّوَٰعِقِ حَذَرَ ٱلْمَوْتِ ۚ وَٱللَّهُ مُحِيطٌۢ بِٱلْكَٰفِرِينَ ﴾ (البقرة:19)، والصيب هو: السحاب ذو الصوب أو ذو المطر.

- ﴿ يَكَادُ ٱلْبَرْقُ يَخْطَفُ أَبْصَٰرَهُمْ ۖ كُلَّمَآ أَضَآءَ لَهُم مَّشَوْا۟ فِيهِ وَإِذَآ أَظْلَمَ عَلَيْهِمْ قَامُوا۟ ۚ وَلَوْ شَآءَ ٱللَّهُ لَذَهَبَ بِسَمْعِهِمْ وَأَبْصَٰرِهِمْ ۚ إِنَّ ٱللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَىْءٍ قَدِيرٌ ﴾ (البقرة:20).

- ﴿ هُوَ ٱلَّذِى يُرِيكُمُ ٱلْبَرْقَ خَوْفًا وَطَمَعًا وَيُنشِئُ ٱلسَّحَابَ ٱلثِّقَالَ ﴾

(الرعد:12)

فالبرق قد يكون تخويف وتحذير من حدوث صواعق تُهلك الحرث والنسل، أو يكون رحمة من الله وأمل وطمعًا من البشر بأن يسقط المطر الذي فيه الرزق لجميع المخلوقات.

- ﴿ وَيُسَبِّحُ ٱلرَّعْدُ بِحَمْدِهِۦ وَٱلْمَلَٰٓئِكَةُ مِنْ خِيفَتِهِۦ وَيُرْسِلُ ٱلصَّوَٰعِقَ فَيُصِيبُ بِهَا مَن يَشَآءُ وَهُمْ يُجَٰدِلُونَ فِى ٱللَّهِ وَهُوَ شَدِيدُ ٱلْمِحَالِ ﴾ (الرَّعْد: 13)، أي: ويسبح الرعد بحمد الله بكيفية لا يعلمها إلا هو سبحانه والملائكة كذلك يسبحون بحمد الله خوفًا منه، شديد المحال أي: شديد الكيد لأعدائه.

- ﴿ أَلَمْ تَرَ أَنَّ ٱللَّهَ يُزْجِى سَحَابًا ثُمَّ يُؤَلِّفُ بَيْنَهُۥ ثُمَّ يَجْعَلُهُۥ رُكَامًا فَتَرَى ٱلْوَدْقَ يَخْرُجُ مِنْ خِلَٰلِهِۦ وَيُنَزِّلُ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مِن جِبَالٍ فِيهَا مِنۢ بَرَدٍ فَيُصِيبُ بِهِۦ مَن يَشَآءُ وَيَصْرِفُهُۥ عَن مَّن يَشَآءُ ۖ يَكَادُ سَنَا بَرْقِهِۦ يَذْهَبُ بِٱلْأَبْصَٰرِ ﴾ (النُّور: 43).

- ﴿ وَمِنْ ءَايَٰتِهِۦ يُرِيكُمُ ٱلْبَرْقَ خَوْفًا وَطَمَعًا وَيُنَزِّلُ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً فَيُحْىِۦ بِهِ ٱلْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَآ ۚ إِنَّ فِى ذَٰلِكَ لَءَايَٰتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ ﴾ (الرُّوم: 24)، وقد تسمى الصاعقة إعصارًا كما في قوله تعالى:

﴿ أَيَوَدُّ أَحَدُكُمْ أَن تَكُونَ لَهُۥ جَنَّةٌ مِّن نَّخِيلٍ وَأَعْنَابٍ تَجْرِى مِن تَحْتِهَا ٱلْأَنْهَٰرُ لَهُۥ فِيهَا مِن كُلِّ ٱلثَّمَرَٰتِ وَأَصَابَهُ ٱلْكِبَرُ وَلَهُۥ ذُرِّيَّةٌ ضُعَفَآءُ فَأَصَابَهَآ إِعْصَارٌ فِيهِ نَارٌ فَٱحْتَرَقَتْ ۗ كَذَٰلِكَ يُبَيِّنُ ٱللَّهُ لَكُمُ ٱلْءَايَٰتِ لَعَلَّكُمْ تَتَفَكَّرُونَ ﴾ (البَقَرَة: 266). إعصار فيه نار أي: أمطار شديدة مع شرارة حارقة.

6- الهطول Precipitation وأنواعها:

يقصد به ما يسقط أو يهطل من السماء من عناصر التكاثف، والهطول يشمل كلًا من المطر - البرد - الثلج. حيث إن مكونات السحب هي قطيرات ماء سائلة أو قطرات ماء فوق مبردة أو بللورات ثلج تظل عالقة داخل السحب، وعندما يزداد حجمها ووزنها بالدرجة التي لا يمكن لحركة الهواء الرأسية لأعلى أن تحملها تتساقط من داخل السحابة. ويعتبر الهطول هو المرحلة الأخيرة لدورة بخار الماء في الغلاف الجوي، وعند مغادرة عناصر الهطول قاعدة السحاب في طريقها إلى سطح الأرض فإنها تمر عادة في جو غير مشبع ببخار الماء وبذلك يتبخر جزء منها قبل وصولها لسطح الأرض.

ويتكون الهطول داخل السحب نتيجة لازدياد حجم قطيرات الماء أو بللورات الجليد بالسحب بفعل بعض العوامل الطبيعية المساعدة، وليس نتيجة التكثف المستمر لبخار الماء على تلك المكونات، وهذا تفسره النظريات التالية:

1- **نظرية التجمع**: عندما تصطدم قطيرات الماء المختلفة الحجم والسرعة في السحاب بعضها ببعض تتحد مكونة قطيرات كبيرة الحجم وعندما يصل حجم هذه القطرات وكتلتها إلى الدرجة التي لا يمكن للهواء أن يحملها تأخذ في الهبوط، وأثناء هبوطها داخل السحاب فإنها تصطدم ببعض القطرات الصغيرة التي تقابلها في الطريق ويكبر حجمها.

2- **نظرية نمو بللورات الجليد**: تعيش بللورات الجليد داخل السحاب فيما بين درجتي حرارة (-12° ،- 40°م) جنبًا إلى جنب مع قطيرات الماء فوق المبردة ونظرًا لأن ضغط بخار الماء المشبع فوق قطيرات الماء أكبر من ضغط بخار الماء المشبع فوق بللورات الجليد عند أي درجة تحت الصفر، لذلك فإن قطيرات الماء يتبخر جزء منها ويتكثف على بللورات الجليد وبذلك يكبر حجم هذه البللورات وتنمو على حساب قطرات الماء. وعندما يكبر حجم بللورات الجليد إلى الدرجة التي لا يمكن للهواء حملها تأخذ في الهبوط داخل السحاب، وتصطدم أثناء هبوطها ببللورات الجليد الصغيرة وقطيرات الماء الصغيرة فتتحد معها ويزداد حجمها وتأخذ في هذه الحالة شكل الثلج أو الشرائح الثلجية.

ولا يظل هذا الثلج على شكله المتجمد إلا إذا كانت درجة حرارة الجو التي يهبط فيه أقل من درجة الصفر المئوي. وفي حالة مرور الثلج في سحابة درجة حرارتها اعلى من الصفر فإنها تذوب وتتحول إلى قطرات ماء، ويكبر حجم قطرات الماء كما في النظرية الأولى وتصل إلى سطح الأرض على شكل قطرات من الماء.

أنواع الهطول:

1 - **هطول مائي**: وهو مكون من قطرات مائية ويصل إلى سطح الأرض عندما تكون درجة الحرارة أكبر من الصفر بكثير ويشمل:

- **الرزاز Drizzle**: ويتكون من قطرات مائية صغيرة الحجم جدًا يقل قطرها عن 0.5مم، تسقط متقاربة من بعضها وينتج عنها تدهور في مدى الرؤية الأفقية، ويسقط الزاز على شكل متواصل أو متقطع من الضباب أو من السحاب الطبقي المنخفض.

- **المطر Rain**: وهو عبارة عن قطرات مائية كبيرة الحجم تسقط متباعدة عن بعضها على شكل متواصل أو متقطع.

2 - **هطول متجمد**: وهو مكون من بللورات أو كرات من الجليد، ويصل إلى سطح الأرض عندما تكون درجة حرارة الهواء القريب من السطح أقل من الصفر إلا في حالة البرد، ويشمل الهطول المتجمد كلا من:

- **الثلج Snow**: أو الشرائح الثلجية وهو عبارة عن بللورات ثلجية منفصلة على شكل نتف مثل القطن الأبيض، وقد تتجمع هذه البللورات وتسقط على شكل شرائح ثلجية، ويقلل هذا النوع مدى الرؤية لحد كبير.

- **البرد Hail**: ويتكون من كتل من الجليد يزيد قطرها على ٥مم وقد يصل إلى أكثر من 50 مم.

3 - **هطول متميع**: ويصل إلى سطح الأرض على شكل مزيج من الثلج والمطر ويكون ذلك نتيجة لذوبان بعض حبات الثلج دون البعض الآخر وذلك عندما تكون درجة حرارة الهواء بالقرب من سطح الأرض أكبر من درجة الصفر المئوي بقليل، حتى حوالي 5 درجات مئوية.

ويمكن لتخليص قصة سقوط المطر القول بأنَّ السحاب هو مصدر المطر ولذا فأبسط ما يقال عنه أنه الجسم الذي سُخر ليعطي المطر، حيث تقوم الرياح بتلقيح

السحاب ببخار الماء وبنويات التكاثف، وعند درجة حرارة هي نقطة الندي وهي عادة درجة حرارة منخفضة تقترب من الصفر المئوي، تتكون نقط ماء أو بللورات ثلج أو كلاهما، ويكبر حجمها ويزداد وزنها وتتكاثر داخل السحب فتتساقط منها. والمعروف علميًا أن الرياح تلعب دورها في تلقيح بعض أنواع النباتات، ولكن أروع من ذلك في هذا الصدد أن تلقح السحب لتجود بالمطر، وهذا التفسير العلمي لسقوط المطر يحدثنا عنه القرآن الكريم في مواضع عديدة، كما هو موضح في سياق الآية الكريمة: ﴿ وَأَرْسَلْنَا الرِّيَاحَ لَوَاقِحَ فَأَنزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَسْقَيْنَاكُمُوهُ وَمَا أَنتُمْ لَهُ بِخَازِنِينَ ﴾ (الحجر: ٢٢)، وأيضًا قوله: ﴿ اللَّهُ الَّذِي يُرْسِلُ الرِّيَاحَ فَتُثِيرُ سَحَابًا فَيَبْسُطُهُ فِي السَّمَاءِ كَيْفَ يَشَاءُ وَيَجْعَلُهُ كِسَفًا فَتَرَى الْوَدْقَ يَخْرُجُ مِنْ خِلَالِهِ فَإِذَا أَصَابَ بِهِ مَن يَشَاءُ مِنْ عِبَادِهِ إِذَا هُمْ يَسْتَبْشِرُونَ ﴾ (الروم: 48). صدق الله العظيم.

ولقد سبق أن أوضحنا مواضع ذكر نزول مياه الأمطار من السماء في آيات القرآن الكريم في الباب الأول.

ومن المعروف أن توزيع الغطاء النباتي على سطح الأرض يرتبط ارتباطًا وثيقًا بكمية الأمطار الساقطة، لذا فعامل المطر من أهم العوامل المناخية التي تؤثر على الحياة الإنسانية والحيوانية والنباتية، كما أنه عامل فعال في تشكيل سطح الأرض.

وهناك ثلاثة أنواع من المطر حسب ظروف تكوينها وهي:

1 - **أمطار التضاريس**: وتكون التضاريس هي المسئولة عن تكوينها حيث يضطر الهواء الرطب إلى الصعود إلى أعلى عندما يصطدم بالمرتفعات (كالجبال....) وبالتالي تنخفض درجة حرارته ويتكاثف ما به من بخار ماء. ولذلك نلاحظ أن الأمطار التضاريسية تغزر على السفوح الجبلية المواجهة للرياح الرطبة كما هو الحال في جبال الهند وسوريا ولبنان، وتقل الأمطار على الجهة الأخرى من الجبل التي لا يهب عليها الرياح وهذا ما يسمى بظل المطر.

2- **الأمطار الانقلابية**: وهذه تحدث نتيجة لوجود تيارات هوائية رطبة صاعدة إلى أعلى نتيجة لسخونة الهواء وتمدده وارتفاعه، وهذا يؤدي إلى برودته تدريجيًا وتكاثفه وسقوط أمطار غزيرة. وهذا النوع من الأمطار يكون مصحوبًا بالبرد، وأحسن الأمثلة عليه ما يحدث حول خط الاستواء نتيجة تيارات الحمل من منطقة الركود الاستوائي، أما عند المدارين فيكاد ينعدم المطر ولذلك تتركز الصحاري قرب المدارين.

3- **الأمطار الأعاصرية**: وهي الأمطار التي تنشأ عن الانخفاضات الجوية أو الأعاصير وهذه تكثر في المنطقة المعتدلة، وسبب هذه الأمطار هو الأعاصير التي تنشأ نتيجة تقابل كتلة هوائية دافئة رطبة بكتل هوائية باردة جافة مما يؤدي إلى تكون الأعاصير المصحوبة بالأمطار الغزيرة، ومن أحسن الأمثلة عليها الأمطار الإعصارية في غرب أوربا.

ويختلف توزيع الأمطار في العالم من حيث الكمية والفصلية، فهناك مناطق غزيرة الأمطار بحيث يزيد المطر السنوي فيها عن 2000مم/ عام مثل حوض الأمزون وحوض الكنغو وساحل غانا، وهناك مناطق قليلة المطر خاصة في المناطق الصحراوية المدارية والمناطق القطبية والمناطق الداخلية من القارات. وهناك مناطق يحدث فيها المطر شتاءً من أول أكتوبر حتى نهاية مارس ومناطق تُمطر صيفًا من أول أبريل حتى نهاية سبتمبر، وأخرى تُمطر طوال العام، يمكن تميز العالم إلى نظم مختلفة لتوزيع المطر، لا مجال لذكرها هنا.

وهناك محاولات لإنزال المطر الصناعي بتلقيح السحب الركامية أو الركام المزني بواسطة مواد خاصة مثل مسحوق بوديد الفضة أو الثلج الجاف (CO_2) أو نقط الماء، وهذه تُرش بواسطة طائرات خاصة أعلى السحب. ولكن هذه الأمطار لا يمكن بالطبع تحديد مكان ووقت إسقاطها، كما إنها لا تعطي المطر الكافي، وتحتاج أولًا لوجود سحب ركامية داكنة مضطربة سابحة فعلًا في السماء، أما صلاة الاستسقاء عند المسلمين فإنها قد تجود بالمطر في مواسم المطر إذا أخلص المسلم الدعاء واستجاب له دعوته مُنزل المطر سبحانه وتعالى.

2-3: الماء على سطح الأرض

الماء في كوكب الأرض يكون موجودًا على سطح الأرض في صورة بحار ومحيطات وبحيرات وأنهار وسيول وغيرها أو يكون موجودًا تحت سطح الأرض وهو ما نسمية بالماء الجوفي.

ويشغل الماء أكبر حيز في الأرض، وهو أكثر مادة منفردة موجودة بها إذ تبلغ مساحة المسطحات المائية نحو 70.8٪ من مساحة الكرة الأرضية، مما دفع بعض العلماء أن يطلقوا اسم الكرة المائية على الأرض بدلًا من الكرة الأرضية.

والمخزون الرئيسي للمياه يوجد في البحار والمحيطات في صورة مياه مالحة، وحكمة الله في جعل هذه المياه في صورة مالحة هو ضمان عدم فسادها. ويضمن الخالق العظيم سبحانه وتعالى توفير المياه العذبة باستمرار لمخلوقاته من خلال عملية التبخر الناتجة عن تعرض مسطحات البحار والمحيطات واليابس والغطاء النباتي لأشعة الشمس والسخونة، وتحول هذه الأبخرة إلى سحب تحركها الرياح إلى حيث يريد الله لها أن تمطر، كما أوضحنا من قبل. وتبلغ كمية المياه على سطح الأرض حوالي 1500 مليون كيلو متر مكعب. وأكثر من 97٪ من هذه الكمية هو مياه البحار والمحيطات، والنسبة الباقية تشمل المياه الجليدية الموجودة في جبال الجليد بالقطبين الشمالي والجنوبي والأنهار الجليدية والمياه الجوفية، أما المياه العذبة الموجودة في الأنهار والبحيرات العذبة والمستنقعات فتشكل أقل من 1٪ من إجمالي كمية المياه. ويقدر بعض العلماء كمية المياه الموجودة في صورة جليدية بحوالي 2.15٪من كمية المياه على الأرض، وأن الماء العذب السائل يمثل حوالي0.65٪ من إجمالي الماء الموجود في الأرض وهي تمثل مياه الأنهار والبحيرات العذبة والمياه الجوفية. وعند حساب توزيع الماء العذب على الأرض نجد أن حوالي 75٪ منه في صورة ثلوج دائمة في القطبين الشمالي والجنوبي حوالي (28.6 مليون متر مكعب)، 24٪ في صورة مياه جوفية،0.3٪ بحيرات عذبة، ومياه الأنهار تمثل حوالي0.03٪ منه.

ومياه الأمطار هي المسئولة عن إمداد سطح الأرض بصفه دائمة بالماء العذب كما سبق توضيحه من قبل، وهذه الأمطار تغذى أنهار العالم سنويًا بالماء العذب، وبعضها يتجمع في بعض مناطق العالم في صورة سيول تصب مياهها في البحار أو تتسرب إلى باطن الأرض.

ولقد ورد ذكر السيول، وهي تجمع مياه الأمطار وجريانها على سطح الأرض خاصة في حالة الأمطار الغزيرة المستمرة، في آيات القرآن الكريم ومنها:

﴿ أَنزَلَ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً فَسَالَتْ أَوْدِيَةٌۢ بِقَدَرِهَا فَٱحْتَمَلَ ٱلسَّيْلُ زَبَدًا رَّابِيًا ﴾ (الرعد: 17)، زبدًا رابيًا أي غثاء عاليًا لا فائدة منه.

﴿ فَأَعْرَضُوا۟ فَأَرْسَلْنَا عَلَيْهِمْ سَيْلَ ٱلْعَرِمِ وَبَدَّلْنَٰهُم بِجَنَّتَيْهِمْ جَنَّتَيْنِ ذَوَاتَىْ أُكُلٍ خَمْطٍ وَأَثْلٍ وَشَىْءٍ مِّن سِدْرٍ قَلِيلٍ ﴾ (سبأ: 16)، وهذه الآية الكريمة تصف عذاب قوم سبأ عندها كفروا، حيث أهلكهم الله بالسيل الطاغي المدمر وأبدلهم من بساتينهم ثمرًا رديئًا مرًّا، حيث الأكل الخمط أي: ثمر حامض لشجر ذو وأشواك، أثل: نوع من نبات الطرفاء.

ومياه البحار والمحيطات والأنهار ومعظم المياه الجوفية نشأت أثناء وبعد الفيضان العظيم في عصور جيولوجية قديمة، والمياه على الأرض في حركة دائمة من مكان إلى مكان ومن حالة إلى حالة، فكما أوضحنا فإن المياه السطحية يتبخر منها جزء إلى الغلاف الجوي، ثم يتكاثف في صورة سحاب، التي عندما تزداد حمولتها تسقط في صورة أمطار وتستمر الدورة المائية متوازنة وثابتة إلى ما شاء الله لها أن تستمر. ولقد سبق أن تناولنا آيات القرآن الكريم التي أوضحت ذكر صور المياه السطحية المختلفة، وهنا سوف نتحدث بإيجاز عن أماكن وجود المياه على سطح الأرض.

المحيطات والبحار:

تغطي المياه حوالي 71٪ من مساحة سطح الأرض. أي أن العالم كأنه حوض مائي واسع يحتوي على جزر كبيرة تشكل القارات المعروفة لنا الآن وجزر أخرى صغيرة. ونجد أن حوالي 97.2٪ من المياه على سطح الأرض مياه مالحة موجودة عادة في

المحيطات والبحار، والتي قُدرت كمية المياه الموجودة بها بحوالي 1300 مليون كيلو متر مكعب، وأيضًا توجد بحيرات عذبة بها كمية من المياه تعادل حوالي 122700 كيلو متر مكعب، وبحيرات مالحة بها كمية من المياه تعادل حوالي 102250 كيلو متر مكعب.

وعلى سطح الأرض ثلاثة محيطات رئيسية هي المحيط الهادي والمحيط الأطلسي والمحيط الهندي وهذه تتصل مياهها ببعضها، والبعض يضيف إلى هذه المحيطات الثلاثة محيطين آخرين هما الجنوبي والقطبي الشمالي (الشكل رقم4). المحيط الهادي هو أكبر المحيطات، ويحتوي على أكثر من نصف الماء الحر بالأرض. وهو أعمق المحيطات حيث يصل متوسط عمقه إلى حوالي أربعة كيلو متر بينما أعظم عمق فيه يصل إلى حوالي 11 كيلو متر بالقرب من أحد الجزر عند الفلبين. ويقع المحيط الهادي ما بين غرب الأمريكيتين وشرق آسيا ومساحته حوالي 118 مليون كيلو متر مربع والمحيط الأطلسي طويل وضيق ويقع ما بين غرب أوروبا وشرق الأمريكيتين ويصل ما بين القطبين الشمالي والجنوبي ومساحته حوالي 87 مليون متر مربع ومتوسط عمقه حوالي 3.3 كيلو متر، ويصب في المحيط الأطلسي ما يقرب من ثلثي مياه الأنهار المنصرفة في العالم.

ويقع المحيط الهندي في معظمه في نصف الكرة الجنوبي وهو أصغر المحيطات الثلاثة فمساحته حوالي 74 مليون متر مربع ومتوسط عمقه حوالي 3.8 كيلو متر، وتقع معظم مساحات المحيطات في نصف الكرة الجنوبي.

والقارات تقع معظم مساحتها في نصف الكرة الشمالي، حيث تقدر مساحة الأرض اليابسة في النصف الشمالي بحوالي 39٪ منه، بينما مساحة اليابسة في النصف الجنوبي من الأرض لا تتعدى 19٪ منها.

لو قارنا ارتفاعات الأرض اليابسة بأعماق المحيطات، لوجدنا أن متوسط ارتفاع القارات يبلغ حوالي 0.84 كيلو متر (840متر) فوق سطح البحر، في حين أن متوسط أعماق البحار والمحيطات يصل إلى حوالي 3.8 كيلو متر، مما يدل على أن ما تحتويه البحار

والمحيطات من كميات ضخمة من المياه لو تم توزيعها بالتساوي على سطح الكرة الأرضية بفرض أنها كرة ملساء لغطت سطح الأرض لعمق 243 مترًا، وهناك توازن بين الجبال والمحيطات فأعلى قمة جبل هي قمة أفرست تصل إلى حوالي 9 كيلو متر وأعظم عمق في المحيطات يصل إلى حوالي 11 كيلو متر، حيث جعل الله الجبال أوتادًا لحفظ توازن الأرض، وصدق الحق حين قال: ﴿ وَجَعَلْنَا فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَن تَمِيدَ ﴾ (الأنبياء: 31). وقال أيضًا: ﴿ أَلَمْ نَجْعَلِ الْأَرْضَ مِهَادًا ۝٦ وَالْجِبَالَ أَوْتَادًا ﴾ (النبأ: 6-7).

فوجد الجبال يجعل الأرض ثابتة رغم حركتها حول محورها وحول الشمس، فهي أوتاد أو رواسي على الأرض ولولاها لما استقر أي شيء على سطح الأرض التي تقوم على مادة منصهرة لزجة، والجبال لها جذور تعادل عشرة أضعاف طولها الظاهر على السطح والجاذبية فوق الجبال أقل منها في السهول.

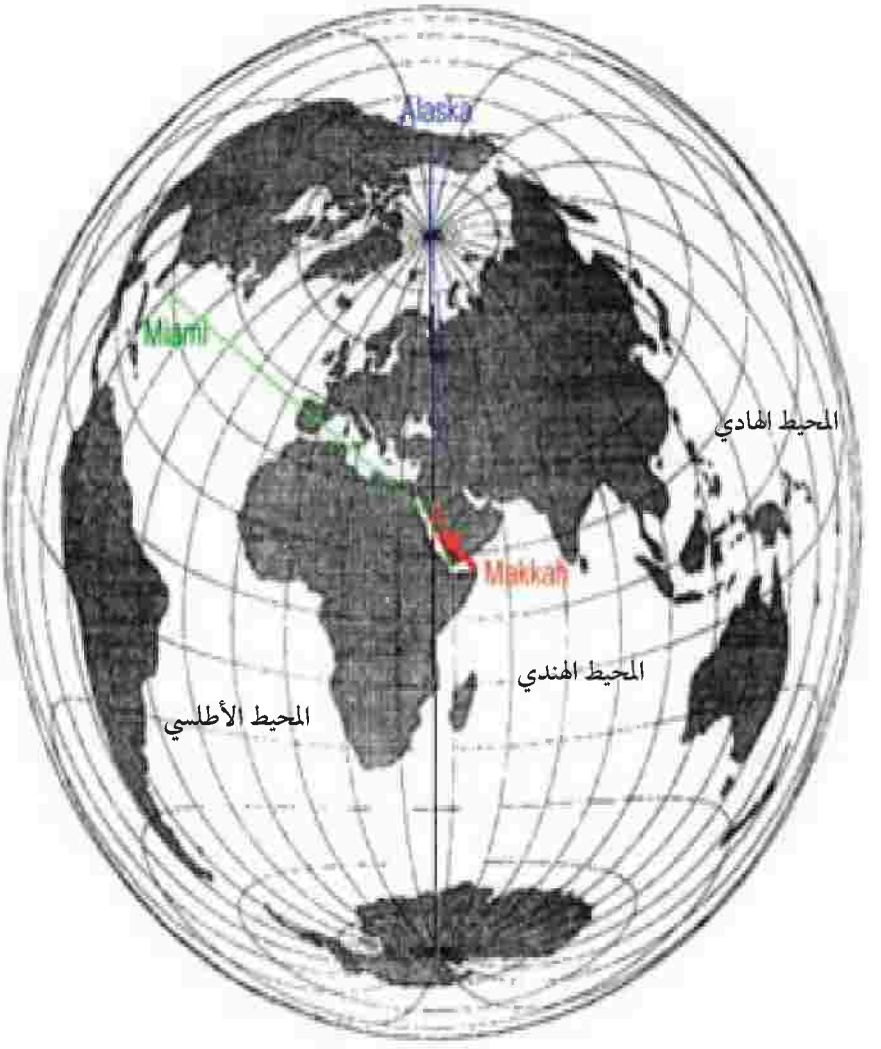
والبحار أحواض مياه جانبية ممتدة من المحيطات قريبًا من سواحل القارات، ولهذا فإنها تتلقى كثيرًا من صرف الأنهار من مياه عذبة بما تحمله من فتات الرواسب التي تحملها أثناء جريانها، وهذه تتجمع عند المصبات مكونة دلتا لتلك الأنهار والبحار قد تفصل ما بين القارات، ومنها البحر الأبيض المتوسط الذي يفصل بين جنوب أوربا وشمال أفريقيا، والبحر الأحمر الذي يفصل غرب آسيا عن شرق أفريقيا، والبحر الكاريبي الذي يفصل أمريكا الشمالية عن أمريكا الجنوبية.

وقد توجد البحار على حواف القارات محاطة جزئيًا بمساحات متصلة من الأرض أو بعدد من الجزر نشأت غالبًا عن تكون جبال، من ذلك الخليج العربي الذي يمتد من المحيط الهندي، وبحر إيجة الذي يمتد من البحر الأبيض المتوسط، وبحر اليابان الذي يفصل بين جزر اليابان والصين.

وفي البداية كانت الأرض محيط ثم تكونت القارات في صورة جزر بركانية. وهناك تبادل بين المحيطات والقارات في دورة ثابتة بسبب الفوالق والهزات الأرضية والبراكين،

فجزء يابس ممكن أن ينخفض ويتحول إلى جزء من المحيطات وجزء من المحيطات قد يرتفع ويتحول إلى يابسة. فلقد كانت أفريقيا والجزيرة العربية كتلة يابسة واحدة وحدث فالق فكون البحر الأحمر، والذي مائه من المحيط الهادي.

تتراوح ملوحة مياه البحار والمحيطات ما بين 3.3٪ إلى 3.7٪ وتصل إلى 4٪ في البحر الأحمر. وتحتوي هذه المياه على جميع عناصر الأرض ذائبة وأكثرها ست أيونات هي الكلور بنسبة 1.9٪، الصوديوم بنسبة 1.06٪ يليه المغنسيوم فالكبريتات فالكالسيوم والبوتاسيوم. وتذوب في مياه البحار والمحيطات الغازات بنسبة تتوقف على الملوحة ودرجة الحرارة. ويزداد الأوكسجين على سطح المياه ويقل الأوكسجين الذائب مع العمق، وتصل نسبة الأوكسجين الذائب في مياه البحر السطحية إلى حوالي 36٪ مقارنة بنسبة 21٪ في الهواء الجوي، وتزداد نسبته في المياه الباردة، وبصفة عامة فإن كميات الغازات الممكن إذابتها في مياه البحار والمحيطات تزداد كلما انخفضت الملوحة ودرجة الحرارة.



(شكل 4): رسم للكرة الأرضية يبين المحيطات الثلاثة الهادي والأطلسي والهندي ممتدة من القطب الجنوبي شمالًا

وغاز ثاني أكسيد الكربون شديد الذوبان في مياه البحار والمحيطات وينتج من تنفس الأحياء المائية وتحلل الأصداف البحرية، التي تزداد بها الكربونات، ويوجد في المياه في صورة غاز حرًا أو في صور أخرى من أهمها حمض الكربونيك (H_2CO_3)، والذي يتكون من اتحاد البيكربونات (HCO_3) مع الماء.

وتتحرك مياه البحار والمحيطات حركة مستمرة تظهر في المد والجزر وحركة الأمواج، وتتأثر هذه الحركة بحركة الرياح فوق سطح الماء وبحركة الزلازل وثورة البراكين وأيضًا بالتسخين غير المنتظم للمياه، فالمياه في المنطقة الاستوائية أشد سخونة منها عند القطبين، ولذا يصعد الهواء الساخن في المنطقة الاستوائية إلى أعلى ويتحرك ناحية القطبين حيث يهبط ليحل محله هواء بارد قادم من القطبين. وتتأثر حركة المد والجزر للمياه بجاذبية كل من الشمس والقمر، وتكون جاذبية القمر أكثر بسبب قرب المسافة بين القمر والأرض بالمقارنة ببعد الشمس عن الأرض. وكما سبق توضيحه في الدورة المائية، فإن المياه تتبخر من سطح مياه البحار والمحيطات تحت تأثير الطاقة الشمسية، ويتصاعد بخار الماء ويتكاثف في الغلاف الجوي ثم يعود مرة أخرى للأرض والبحار والمياه في صورة هطول في دورة متكررة ومتوازنة.

ولقد تحدثنا عن الأمطار من قبل، وهنا نقول إن كمية المياه المتبخره من البحار والمحيطات تمثل كمية كبيرة جدًا تزيد عن ألف مليون طن، وهذه لو سقطت كلها من السحب دفعة واحدة على الأرض اليابسة فإنها سوف تغرقها، ولكن بفضل الله فهي تتنزل على دفعات ويسقط معظمها فوق المياه السطحية خاصة للبحار والمحيطات، ومياه الأمطار تتوزع توزيعًا غير منتظم على سطح الأرض اليابسة، فهناك مناطق تعاني من الجفاف وأخرى تعاني من الفيضانات والسيول.

ولا تتناقص مياه البحار والمحيطات بالتبخر المستمر من مياهها لأنها تستعيد بدلًا من الفاقد مياه عذبة من الأمطار والأنهار والمياه الجوفية التي ينتهي بها المطاف في البحار والمحيطات.

الأنهار:

ما يسقط من مياه الأمطار على الجبال والهضاب والمرتفعات يتخذ له شعبًا تجري فيها مياه السيول وتتقابل هذه الشعب لتكون جداول وهذه تتقابل لتكون الأنهار، وهذه الأنهار التي تكونت من عصور جيولوجية قديمة ما زالت قائمة ويتجدد ماؤها سنويًا من خلال هطول الأمطار. ومجاري الأنهار ليست مستقيمة وذلك لأن مياه الأمطار أثناء حركتها من المرتفعات إلى المصب (الذي عادة ما يكون في البحار أو المحيطات) تشق طريقها في الصخور الرخوة وتتحاشى الصخور الصلدة. وعادة ما يترسب ما تحمله المياه من رواسب الصخور في مجرى النهر، ويبدأ الترسيب بالحبيبات الكبيرة ثم الأصغر، بحيث أن ما يترسب عند المصب يكون في صورة حبيبات صغيرة وطمي مكونًا دلتا الأنهار.

ومع زيادة عدد سكان الأرض وزيادة الطلب على الماء العذب خاصة في المناطق الجافة تدخل الإنسان في تحويل مجرى أو مسار الأنهار لتوصيلها إلى حيث الحاجة الملحة للماء، وأيضًا لتقليل أو منع وصول مياه الأنهار إلى البحار والمحيطات، ولهذا أقيمت القناطر والسدود لتخزين مياه الأنهار، وتشق ترع لآخذ مياه الأنهار وتوصيلها إلى الأراضي والمناطق البعيدة عن مجرى النهر.

والمشكلة أن إقامة الحواجز على الأنهار تسبب في تقليل سرعة سريان الماء، وهذا يؤدي إلى ترسيب ما تحمله الأنهار من طمي أو غرين في أماكن قد لا تكون في حاجة إليه وهذا يحرم بعض المناطق من وصول هذا الغرين المفيد للأراضي الزراعية، وهذا ما يستدعي استعمال الأسمدة الكيماوية المكلفة اقتصاديًا والضارة للبيئة أحيانًا.

وطول مجاري الأنهار قد يصل إلى آلاف الكيلو مترات، فطول نهر النيل (وهو أطوال أنهار العالم) يصل إلى حوالي 6670 كيلو متر ويجري من جبال أثيوبيا ليصب في البحر الأبيض المتوسط، ويليه في الطول نهر الأمازون الذي يصل طوله إلى حوالي

6436 كيلو مترًا، ويجري في أمريكا الجنوبية من الغرب إلى الشرق حيث يصب في المحيط الأطلسي. وأهم الأنهار في الدول العربية نهر النيل في مصر والسودان ونهري دجلة والفرات بالعراق، ونهر العاصي ونهر الليطاني في لبنان، وهناك أيضًا نهر الأردن وبعض الأنهار في المغرب العربي مثل الملوية وسيبو وغيرها.

البحيرات:

البحيرات هي مسطحات مائية تحاط بأرض يابسة من جميع الجهات، وقد نشأت البحيرات قديمًا في المناطق المنخفضة التي نتجت عن الاضطرابات الأرضية الناتجة عن البراكين والزلازل، وتجمعت في تلك المنخفضات مياه الأمطار أو صبت فيها مجاري السيول أو الأنهار.

ومياه البحيرات في الأصل عذبة، إلا أنه في بعض الحالات في المناطق الجافة ونصف الجافة أصبحت مياه بعض البحيرات مالحة نتيجة ارتفاع معدلات التبخر. وتمثل المساحة السطحية للبحيرات العذبة في العالم حوالي 845 ألف كيلو متر مربع، وحجم الماء بها حوالي 123 ألف كيلو متر مكعب. بينما المساحة السطحية للبحيرات المالحة في العالم حوالي 691 ألف كيلو متر مربع وحجم المياه بها حوالي 102 ألف كيلو متر مكعب.

وكثيرًا ما تسمى البحيرات المالحة الكبيرة بحارًا، ومنها بحر قزوين الذي يقع في غرب آسيا ويعتبر أكبر بحيرات العالم حيث مساحته حوالي 373 ألف كيلو متر مربع، ومن البحيرات المالحة البحر الميت في غرب الأردن، وقد عُرف بالبحر الميت لانعدام الأحياء فيه، سواء النباتية أو الحيوانية بسبب ارتفاع نسبة الملوحة به إلى حوالي 22٪، التي تزيد كثيرًا عن ملوحة البحار والمحيطات التي تُقدر متوسط ملوحتها بحوالي 3.5٪، ويقع مستوى البحر الميت تحت مستوى سطح البحر بحوالي 365 مترًا.

ومن البحيرات ذات المياه العذبة بحيرة فيكتوريا، وهي ثالث أكبر بحيرة في العالم وأكبر بحيرة عذبة، ومساحتها حوالي 69 كيلو متر مربع، وتقع في المنطقة الاستوائية بإفريقيا في أوغندا، وينبع منها النيل الأبيض وهو أحد روافد نهر النيل.

وقد نشأت حديثًا كثير من البحيرات عقب إقامة سدود في مجاري بعض الأنهار التي تسببت في تجمع المياه خلف تلك السدود. ومن أحدث تلك البحيرات، البحيرة التي نشأت خلف السد العالي في مصر وتمتد جنوبًا لحوالي 640 كيلو متر.

وقد تكون البحيرات صغيرة وتسمى برك، وقد تكون ضحلة وتنمو بها كثير من الأعشاب وتعتبر مستنقعات.

ومخزون المياه بالبحيرات العذبة يزيد بحوالي مائة ضعف عن المياه العذبة بالأنهار والتي تعادل حوالي 1227 كيلو متر مكعب، حيث مخزون مياه البحيرات العذبة في العالم يعادل 122.7 ألف كيلو متر مكعب.

العيون والينابيع:

وهي في الأصل مياه جوفية تظهر على سطح الأرض نتيجة تقاطع سطح الأرض مع مناسيب المياه بالطبقات الجوفية الحاملة للمياه، أو نتيجة وجود فوالق وتصدعات في بعض المناطق ساعد في تسرب المياه الجوفية من خلالها إلى سطح الأرض.

وبالطبع تظهر العيون على سطح الأرض بقدرة الله بدون سبب واضح للبشر كما في بئر زمزم بالسعودية، والعيون التي تفجرت عندما ضرب سيدنا موسى الصخر بالعصا لكي يستسقي قومه (كما سيأتي توضيحه).

وتبدو العين كحفرة بها ماء عند سفوح المرتفعات أو على امتداد جوانب الأنهار، والعيون التي تتغذى مباشرة من مياه الأمطار تعتبر منابع مائية موسمية، تزداد إنتاجيتها خلال موسم الأمطار وتقل أو تنعدم وتجف خلال مواسم الجفاف، بينما العيون التي تتغذى من مياه جوفية متجددة فهي عادة منابع مائية دائمة.

وكما سيأتي توضيحه عند الحديث عن المياه تحت سطح الأرض «المياه الجوفية»، فإن الخزان الجوفي قد يكون غير محصور (أي عادي) وعند تقاطع سطح المياه بهذا الخزان الجوفي مع أي منخفض فإن المياه تتسرب إلى جوانب المنخفض مكونة بركة أو بحيرة وهذه تسمى بالعين (Spring) وعادة تتدفق المياه في هذه الحالة بمعدلات منخفضة، والنوع الثاني من الخزانات الجوفية هو الخزان الجوفي المقيد (أي غير الحد) وهذا تتدفق منه المياه إذا تم حفر بئر يصل إلى المياه المقيدة، وعادة ما يكون التدفق بمعدلات كبيرة وهذا ما يسمى بالبئر الارتوازي المتدفق إذا ما وصلت المياه إلى سطح الأرض بدون استعمال مضخة أو طلمبة رفع.

وقد ورد في القرآن الكريم لفظ العيون أو الينابيع ليدل على ظهور الماء الجوفي على سطح الأرض، وقد ذكرنا ذلك من قبل، وهنا سوف أذكر على بعض الآيات:

﴿ أَلَمْ تَرَ أَنَّ ٱللَّهَ أَنزَلَ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً فَسَلَكَهُۥ يَنَٰبِيعَ فِى ٱلْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِۦ زَرْعًا مُّخْتَلِفًا أَلْوَٰنُهُۥ ثُمَّ يَهِيجُ فَتَرَىٰهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُۥ حُطَٰمًا ۚ إِنَّ فِى ذَٰلِكَ لَذِكْرَىٰ لِأُو۟لِى ٱلْأَلْبَٰبِ ﴾

(الزمر: 21)

وفي هذه الآية الكريمة تذكير لأصحاب العقول السليمة بآيات الله - سبحانه وتعالى - فماء المطر ينزل من السماء على سطح الأرض ثم يُدخله الله بقدرته في شقوق ومسارب الأرض ثم يخرجه الله بقدرته مرة أخرى على السطح في صورة ينابيع، فُتروي من هذا الماء النباتات لتخرج لنا زروع وثمار مختلفة في النوع واللون رغم أنها تُروى بماء واحد، وبعد ذلك تتحول هذه النباتات بعد النمو الخضري الكثيف إلى نبات ذابل مصفر ثم يصبح هذا النبات حطامًا، أليس في ذلك عبرة لأصحاب العقول السليمة.

وقد ظهرت قدرة الله في معجزة أيد بها سيدنا موسى عندما طلب منه قومه الماء كي يشربوا، فضرب في الحجر فانفجرت لهم اثنتا عشر عينًا بعدد قبائل قومه، كما في قوله

سبحانه: ﴿وَإِذِ ٱسْتَسْقَىٰ مُوسَىٰ لِقَوْمِهِۦ فَقُلْنَا ٱضْرِب بِّعَصَاكَ ٱلْحَجَرَ ۖ فَٱنفَجَرَتْ مِنْهُ ٱثْنَتَا عَشْرَةَ عَيْنًا ۖ قَدْ عَلِمَ كُلُّ أُنَاسٍ مَّشْرَبَهُمْ ۖ كُلُوا۟ وَٱشْرَبُوا۟ مِن رِّزْقِ ٱللَّهِ وَلَا تَعْثَوْا۟ فِى ٱلْأَرْضِ مُفْسِدِينَ﴾ (البقرة: 60).

«استسقى» أي: طلب من ربه السقيا لعدم وجود الماء في ذلك الوقت، قد علم كل أناس مشربهم أي: عرفت كل فرقة منهم المكان الذي تشرب منه، ولا تعثوا في الأرض مفسدين أي: ولا تصروا على الفساد وتستمروا عليه دون توبة.

﴿وَقَطَّعْنَٰهُمُ ٱثْنَتَىْ عَشْرَةَ أَسْبَاطًا أُمَمًا ۚ وَأَوْحَيْنَآ إِلَىٰ مُوسَىٰٓ إِذِ ٱسْتَسْقَىٰهُ قَوْمُهُۥٓ أَنِ ٱضْرِب بِّعَصَاكَ ٱلْحَجَرَ ۖ فَٱنۢبَجَسَتْ مِنْهُ ٱثْنَتَا عَشْرَةَ عَيْنًا ۖ قَدْ عَلِمَ كُلُّ أُنَاسٍ مَّشْرَبَهُمْ ۚ وَظَلَّلْنَا عَلَيْهِمُ ٱلْغَمَٰمَ وَأَنزَلْنَا عَلَيْهِمُ ٱلْمَنَّ وَٱلسَّلْوَىٰ ۖ كُلُوا۟ مِن طَيِّبَٰتِ مَا رَزَقْنَٰكُمْ ۚ وَمَا ظَلَمُونَا وَلَٰكِن كَانُوٓا۟ أَنفُسَهُمْ يَظْلِمُونَ﴾ (الأعراف: 160).

فانبجست منه أي: فتفجرت منه، المن: مادة حلوة تسقط من الشجر، والسلوى: طائر لذيذ الطعم.

ومن الأسرار والآيات التي ما زالت ظاهرة للعين حتى الآن، ماء بئر زمزم بالمملكة السعودية، فكيف تكون هذا الماء وكيف ظهر على سطح الأرض مع العلم أن الصخور في مكانه نارية جرانيتية صلدة، والماء تفجر من صخور الجرانيت وعمره الآن حوالي خمسة آلاف سنة ومستمر حتى الآن ويشرب منه الحجيج ويقدموه هدية إلى أحبابهم عند العودة إلى بلادهم، ويقول الرسول الكريم «**ماء زمزم لما شُرب له**».

وهذا الماء سر يعلمه الله، ونحن كمسلمين نعلم أن هذا الماء ظهر عندما كان سيدنا إسماعيل رضيع وأمه سارة تبحث له عن الماء دون جدوى، فأمر الله جبريل -عليه السلام- فضرب الأرض بجناحيه فتفجر الماء بجوار الرضيع.

وقد أوضح القرآن الكريم أن سيدنا إبراهيم ترك أهله (السيدة سارة وسيدنا إسماعيل) في مكان لا زرع فيه، بأمر الله ودعا أن يصبح هذا المكان من الأماكن التي

تذهب إليها الناس وتحبه وتعيش فيه، وذلك كما قال الله سبحانه: ﴿رَّبَّنَآ إِنِّيٓ أَسۡكَنتُ مِن ذُرِّيَّتِي بِوَادٍ غَيۡرِ ذِي زَرۡعٍ عِندَ بَيۡتِكَ ٱلۡمُحَرَّمِ رَبَّنَا لِيُقِيمُواْ ٱلصَّلَوٰةَ فَٱجۡعَلۡ أَفۡـِٔدَةٗ مِّنَ ٱلنَّاسِ تَهۡوِيٓ إِلَيۡهِمۡ وَٱرۡزُقۡهُم مِّنَ ٱلثَّمَرَٰتِ لَعَلَّهُمۡ يَشۡكُرُونَ﴾ (إبراهيم: 37).

ولقد استجاب الله دعاء سيدنا إبراهيم فأصبح هذا المكان أفضل بقعة على وجه الأرض.

وهناك أسرار عديدة في ماء بئر زمزم، حيث يتغذى من ثلاث عيون عمقها حوالي 13 متر، وعمق البئر نفسه حوالي 30 متر. ومن الغريب أن مستوى الماء في البئر مستوى ثابت لا يتغير، يصل في المتوسط إلى 3 متر ويصل عند فتحة البئر لحوالي 4 متر.

ومستوى الماء في البئر لا يقل مهما أُخذ منه بحيث لا يبقى منه شيء ولا يكثر أي لا ينبع بكثرة بحيث يسيل على وجه الأرض.

وماء بئر زمزم خير وأفضل ماء على وجه الأرض كما قال رسولنا الكريم ﷺ:

عن ابن عباس رضي الله عنهما قال: قال رسول الله ﷺ: «**خير ماء على وجه الأرض ماء زمزم، فيه طعام طعم، وشفاء السقم**»، وهذه نعم عظيمة تستحق منا الحمد والشكر.

فيارب نحن شاكرون لك هذا الفضل والنعمة، يارب لا تجعل قلوبنا قاسية واجعلنا هادين مهدين، وقد ذكر القرآن الكريم أن الله قادر على أن يفجر من الحجارة الماء، كما في قوله سبحانه: ﴿ثُمَّ قَسَتۡ قُلُوبُكُم مِّنۢ بَعۡدِ ذَٰلِكَ فَهِيَ كَٱلۡحِجَارَةِ أَوۡ أَشَدُّ قَسۡوَةٗۚ وَإِنَّ مِنَ ٱلۡحِجَارَةِ لَمَا يَتَفَجَّرُ مِنۡهُ ٱلۡأَنۡهَٰرُۚ وَإِنَّ مِنۡهَا لَمَا يَشَّقَّقُ فَيَخۡرُجُ مِنۡهُ ٱلۡمَآءُۚ وَإِنَّ مِنۡهَا لَمَا يَهۡبِطُ مِنۡ خَشۡيَةِ ٱللَّهِۗ وَمَا ٱللَّهُ بِغَٰفِلٍ عَمَّا تَعۡمَلُونَ﴾ (البقرة: 74).

2- 4: الماء تحت سطح الأرض

تحدثنا عن الماء السطحي، أي الماء الموجود على سطح الأرض في صورة بحار ومحيطات وأنهار وبحيرات وعيون، وتحدثنا أيضًا عن الماء في الغلاف الجوي، وأوضحنا في شرح الدورة المائية أن الماء موجود أيضًا تحت سطح الأرض.

ويشمل الماء تحت السطحي كلا من:

1 – الرطوبة الأرضية (ماء التربة). 2 – المياه الجوفية.

وسوف نشير هنا في عُجاله إلى ماء التربة، لأننا سوف نعاود الحديث عنه في الباب الثالث، ثم نُعالج موضوع المياه الجوفية بإيجاز، لأن ذلك يحتاج إلى كتاب منفصل.

ماء التربة Soil Water:

كلمة أرض أو تربة (soil) تعنى الطبقة العليا المجواة من القشرة الصلبة للكرة الأرضية (the earth)، والتي تنمو فيها النباتات، وهي مكونة من حبيبات صلبة مختلفة الأشكال والأحجام والتركيب، وتحتوي في الفراغات أو المسام بين الحبيبات الصلبة الماء والهواء، كما سبق توضيحه في الدورة المائية فإنه عندما تنزل المياه على سطح التربة فإن جزءًا كبير منها يتسرب تحت سطح ليكون الرطوبة الأرضية أو الماء الأرضي.

ويمثل ماء التربة جزءًا ضئيلًا من مياه الكرة الأرضية، قدره بعض العلماء بحوالي 65 ألف كيلو متر مكعب أي ما يعادل حوالي 0.005٪ من الماء في الكرة الأرضية، وتستهلك النباتات جزء كبيرًا من ماء التربة، والجزء الآخر يتسرب إلى الأعماق البعيدة ويصل في النهاية إلى الماء الجوفي.

والمقصود بماء التربة أي صورة من صور الماء موجودة في قطاع التربة الذي تمتد فيه جذور النباتات، ويذوب في هذا الماء الأملاح والعناصر الغذائية اللازمة للنباتات ويطلق عليه علماء الأراضي لفظ المحلول الأرضي، وتفقد النباتات أكثر من 95٪ من

الماء الذي تمتصه من التربة عن طريق عملية النتح، وماء التربة قد يكون ماء سائل أو بخار ماء أو حتى ثلج عندما تقل درجة حرارة التربة عن الصفر المئوي، وقطاع التربة الذي يوجد به الماء الصالح للنباتات لا يمتد لمسافات كبيرة، أما المياه الموجودة على أعماق بعيدة تحت سطح الأرض فإنها تُسمى المياه الجوفية، وهي الموضوع الرئيسي لهذا الفصل.

المياه الجوفية Ground Water:

تتشرب مسام الأرض وشقوقها كثيرًا من مياه الأمطار أو من الماء الجاري بالأنهار وكذلك مياه البحيرات، وقد تتخلل تلك المياه في العمق إلى مسافات بعيدة في قشرة الكرة الأرضية، وعادة ما تتجمع المياه الجوفية فوق طبقات قليلة النفاذية التي تُسمى بالطبقات غير المنفذة أو الطبقات الصماء وإن كانت هذه التسمية غير دقيقة، وبذلك تتكون أحواض مائية في باطن الأرض يُطلق عليها اسم الخزان الجوفي (Aquifer). ويقصد به التكوينات الصخرية الحاملة للماء بحيث تكون كل المسام مملوءة بالماء، وجزء كبير من المياه الجوفية تكون أثناء نشأة الأرض وترسب صخورها.

وبخلاف المياه السطحية لا يتواجد الماء الجوفي في قنوات ومجاري في أماكن محدودة وإنما يتواجد تقريبًا في كل مكان تحت الأرض في الفراغات والمسام والشقوق في التربة والصخور، عادة ما يتواجد الماء الذي يملأ هذه الفراغات في حدود 100 متر تحت سطح الأرض، أما في الأعماق الأكبر فيكون هذا الماء بكمية أقل.

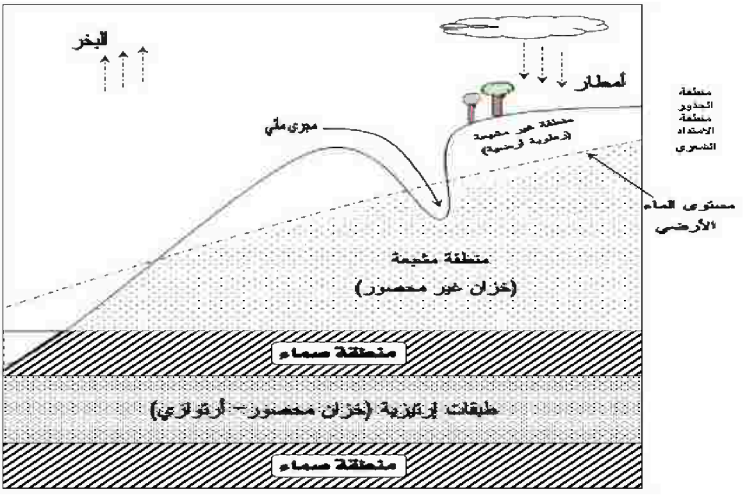
وأنواع المسامية الرئيسية التي يمكن أن يتواجد بها الماء الجوفي تشمل:

- الفراغات الموجودة بين حبيبات الرمل والحصى والزلط.
- التشققات الموجودة في الصخور النارية.
- الفتحات الموجودة في الحجر الجيري.

وسريان الماء الجوفي خلال التكوينات الصخرية الحاملة للماء (Aquifers) يكون عادة بطيئًا، ولكن في بعض الأماكن التي يذاب فيها الحجر الجيري بواسطة الماء الجوفي

تتكون فتحات واسعة تجعل سريان الماء الجوفي سريعًا نسبيًا، والسرعة الطبيعية للمياه الجوفية تتراوح ما بين 1.5 متر في العام إلى 2 متر في اليوم، ولكن في حالات نادرة تم تسجيل سرعات عالية وصلت إلى 30 متر في اليوم.

ويوجد كثير من المصطلحات المستخدمة لوصف طبيعية وحدود مصادر المياه الجوفية. فالمستوى الذي أسفله تكون كل الفراغات مملوءة بالماء ويطلق عليه مستوى الماء الأرضي water table وأسفل هذه المستوى توجد المنطقة المشبعة saturated zone والماء الموجود بهذه المنطقة يطلق عليه الماء الجوفي (الشكل رقم5). وأعلى مستوى الماء الأرضي منطقة غير مشبعة بالماء unsaturated zone وفيها توجد رطوبة أرضية ممسوكة بالخاصة الشعرية في المنطقة التي تعلو مستوى الماء الأرضي بارتفاعات مختلفة تتوقف على مسامية المنطقة غير المشبعة. ويوضح الشكل أن الماء من مصدر مثل الأمطار يصل إلى المنطقة غير المشبعة (الرطوبة الأرضية soil water or soil moisture) والمنطقة المشبعة (الماء الجوفي Ground water)، ويوضح الشكل أيضًا سريان الماء الجوفي وكيفية وصول المياه الجوفية إلى المجاري المائية من بحار وأنهار، وفي أعلى المنطقة الشعرية توجد منطقة الجذور، والتي يمكن لجذور النباتات والأشجار الامتداد بها والاستفادة من جزء من الماء الشعري.



شكل (5): حدود وسريان المياه الجوفية.

وتُسمى منطقة التكوينات الأرضية الحاملة للماء الجوفي (المنطقة المشبعة) بالـaquifer (أو الخزان الجوفي) وهو تكوين تحت سطح الأرض من صخور منفذه أو مواد مفككة لها القدرة على حمل كميات كبيرة من المياه التي يمكن الحصول عليها بحفر الآبار أو بخروجها في صورة عيون وينابيع، ويتراوح حجم الـ aquifer بين صغير (آلاف المترات المربعة) أو كبير جدًا يمتد لآلاف الكيلو مترات المربعة، ويتراوح سمك هذه الطبقة الحاملة بين عدة أمتار ومئات الأمتار. ويتحرك الماء الجوفي بسرعات ليست عالية تتراوح ما بين عدة سنتيمترات في السنة إلى عدة أمتار في اليوم حسب نوع الطبقة الحاملة، وعادة يتحرك الماء الجوفي في اتجاه المجاري المائية مثل البحار والأنهار.

ويوجد نوعين من التكوينات الأرضية الحاملة للماء تبعًا لصفاتها الفيزيائية:

1 – تكوينات مسامية أو منفذه porous media.

وهي التكوينات التي تتكون من تجمع حبيبات فردية مثل الرمل والزلط والحصى، ويتواجد الماء الجوفي ويتحرك خلال الفراغات الموجودة بين هذه الحبيبات الفردية، والتكوينات المسامية قد تكون فيها الحبيبات غير متصلة ببعضها ببعض فيُطلق عليها اسم مفككة unconsolidated أو تكون الحبيبات ملتصقة ببعضها فيطلق عليها متصلة consolidatedوالمثال عليها الحجر الرملي، والتكوينات المنفذة هي الهامة لتواجد المياه الجوفية.

2 – التكوينات غير المنفذة fractured aquifer:

وهي عبارة عن صخور صلبة ويتحرك الماء الجوفي فيها من خلال الشقوق الموجودة في الصخر الصلب ومثال ذلك الجرانيت والبازلت، وأيضًا الحجري الجيري. ولكن المحلول الحمضي قد يؤدي لزيادة الشقوق الموجودة مكونًا قنوات كبيرة في الحجر الجيري.

وهنا نود التفريق بين الماء الأرضي والماء الجوفي:

الماء الأرضي: صورة من الماء الموجود تحت سطح التربة والذي يملأ كل المسام في

المنطقة المشبعة في الرسم السابق. ومصدر هذا الماء الزائد الذي يملأ مسام التربة هو من ماء الأمطار أو التسرب من المجاري المائية السطحية، وعادة يمكن القول بأن التربة تحتوي على ماء أرضي إذا توافرت الظروف التالية:

1- الماء الموجود تحت السطح حر الحركة بمعنى أن حُفر أو جر (**Auger holes**)متجاورة تعطي مستوى ماء أرضي متقارب.

2- توجد علاقة بين مستوى الماء الأرضي وارتفاع سطح المياه في المجاري المائية المجاورة مثل الأنهار والقنوات والبحيرات، وأيضًا يتأثر مستوى الماء الأرضي بعملية الري.

3- تتزامن مستويات الماء في حفر متجاورة تقريبًا أي نصل إلى مستوى الماء الأرضي الثابت في الحفر المتجاورة في أزمنة متماثلة تقريبًا.

4- أن تكون الطبقة رديئة النفاذية والتي يتجمع فوقها الماء الأرضي موجودة على عمق أكبر من 130 سم من سطح التربة.

5- يوجد هذا الماء في التربة بصورة دائمة.

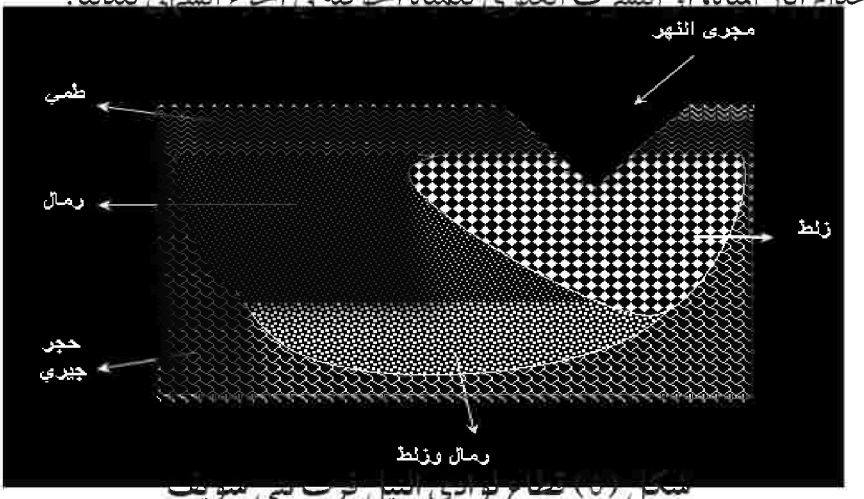
ويمكن من ملاحظة أفق الأكسدة والاختزان في قطاع التربة الحكم على عمق الماء الأرضي، حيث يدل أفق الاختزال غامق اللون على أدني مستوى للماء الأرضي ويجب عند قياس مستوى الماء الأرضي التأكد من أن الماء لا يندفع بسرعة في حفرة القياس أي أنه لا يندفع تحت تأثير ضغط واضح.

أما الماء الجوفي: فهو الماء الموجود في باطن الأرض في تكوينات جيولوجية عالية النفاذية أو في شقوق وفجوات وفراغات الصخور وتسمى هذه التكوينات بالطبقات الحاملة للمياه، والماء الجوفي موجود في باطن الأرض من ملايين السنين أحيانًا، وعادة يتواجد على أعماق بعيدة من عدة عشرات إلى عدة مئات من الأمتار تحت سطح الأرض. ويتجمع الخزان الجوفي فوق طبقة صماء ويصل سمكه إلى عشرات الأمتار ويغطي مساحة كبيرة عادة ما تزيد عن مئات الآلاف من الكيلو مترات المربعة. وسطح الماء

الجوفي الذي يسمى بخط المياه أو مستوى الماء الاستاتيكي أو منسوب المياه الجوفية، هـو السطح العلوي للمنطقة المشبعة، عادة ما يكون بعيدًا عن سطح الأرض لمئات الأمتـار. والخزان الجوفي سطحه قـد يكـون حـرًا (الخـزان الجـوفي غـير المحـصور Unconfined aquifer) أو يكون أعلاه طبقة أخرى صـماء فيـصبح سـطحه مـضغوط أو غـير حـر أو محبوس (الخزان الجوي المحصور confined aquifer).

وقد يتصل الماء الأرضي بالماء الجوفي في الخزانات الجوفية غير المحـصورة (الحـرة) كما هو الحال في الخزان الجوفي النيلي بمصر.

والشكل (6) يوضح مقطع في جيولوجية خزان جوفي وادي النيل. حيث نلاحظ أن الوادي عبارة عن قناة في الصخور الجيرية ممتلئة برواسـب مـن الـزلط والرمـل والطمـي، وأقصى سمك لطبقة التشبع هو 300متر في الوادي و800متر في الدلتا، ومتوسط منسوب المياه الجوفية ينخفض بالتدريج من 65 متر عند أسوان إلى 15 متر عند القـاهرة ثـم يـصل منسوب خط التشبع للمياه إلى حوالي 1متر في شمال الدلتا، وبذلك يلتقي الماء الأرضي مـع الماء الجوفي. والمصدر الرئيسي لتغذية خزان جوفي النيل هو مياه الري، والسحب من خزان جوفي النيل يتم بالتسرب إلى النيل (أكثر مـن3 مليـار مـتر مكعـب في العـام) أو الـسحب باستخدام آبار المياه، أو التسرب العلوي للمياه الجوفية في الجزء الشمالي للدلتا.



شكل (6) قطاع لوادي النيل غرب بني سويف

وسريان الماء الجوفي عادة يكون في نفس اتجاه الماء الأرضي ويتحرك في اتجاه المجاري المائية والأنهار والبحيرات والبحار والمحيطات ويصب فيها، وعلى الرغم من ذلك فإن سريان الماء الجوفي قد لا يتماشى مع نفس سريان المياه السطحية ويتحرك في اتجاهات مختلفة تحت سطح الأرض.

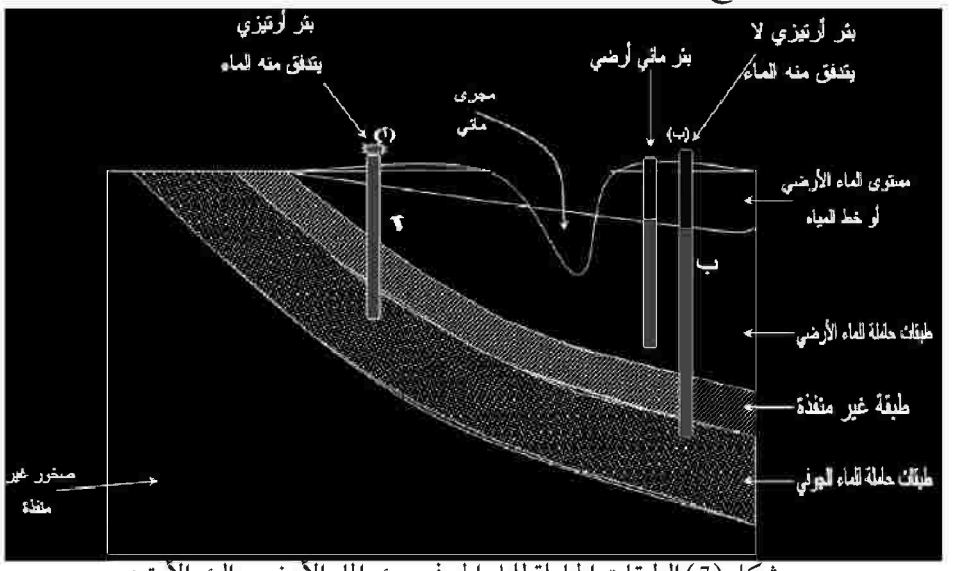
ويمكن تقسيم التكوينات الحاملة للماء aquifers إلى:

1 – تكوينات مفككة unconsolidated aquifers:

وهي التكوينات المفككة غير ملتصقة الحبيبات والمجاورة للماء الأرضي ويوضح الشكل (7) بئر يستمد ماؤه من هذه التكوينات (بئر ماء أرضي).

2 – تكوينات محصورة confined aquifers :

وهي تكوينات محصورة بين طبقتين غير منفذين أعلاها وأسفلها، ويطلق عليها أيضًا تكوينات أرتيزية (artesian). والبئر الذي يستمد ماءه من هذه التكوينات يسمى بئر أرتيزي، حيث يرتفع الماء في هذه الآبار بفعل الضغط، حيث السطح العلوي للماء الجوفي غير حر بل واقع تحت ضغط (الشكل:7).



شكل (7) الطبقات الحاملة للماء الجوفي، وبئر الماء الأرضي والبئر الأرتيزي.

وتُسمى التكوينات الأرضية الحاملة للمياه بكميات كافية اقتصاديًا بالخزان الجوفي سواء كانت هذه الطبقات من الصخور أو الرمال، ولهذا فإن طبقة الطمي المشبعة بالماء لا تسمى بالخزان الجوفي لأنه لا يمكن الحصول على كميات كافية اقتصاديًا منها على الرغم من أنها تحتوي على كميات من المياه أكثر من طبقة رملية بنفس السمك.

ويمكن الحصول على المياه الجوفية بحفر آبار تصل إلى الطبقات الحاملة، وتزداد إنتاجية البئر بزيادة إعادة شحنه طبيعيًا (recharge)، وهذا يتوقف على نوعية صخور الطبقة الحاملة، والخزانات الجوفية ذات الطبقة الحاملة الزلطية هي الأكثر إنتاجية.

وتزداد الإنتاجية بزيادة سمك الخزان الجوفي، ويمكن سحب كميات وفيرة من المياه من الحجر الجيري والصخور النارية، خاصة إذا وصل البئر لقنوات الشقوق في الصخر. وعمومًا فإن الخزانات الجوفية منها خزانات متجدده وخزانات غير متجددة، ويمكن التعرف على ذلك بعد استعمالها وسحب المياه منها ومراقبة نوعية المياه وتجددها من عدمه.

التكوينات الحاملة للمياه water bearing formations:

كما سبق توضيحه فإن المياه الجوفية تكون محمولة في طبقات تحت سطح الأرض، قد تكون في مسام الرمال والزلط أو في شقوق وفتحات الصخور النارية والحجر الجيري.

وتُسمى التكوينات الحاملة للمياه بالخزان الجوفي (aquifer) ويوجد نوعين رئيسيين من الخزانات الجوفية على أساس طبيعة تدفق المياه الجوفية هما:

أ- خزان جوفي غير محصور أو حر أو عادي (unconfined aquifer) ويسمى أيضًا خزان جوفي خط المياه، وهذا الخزان يكون أسفله طبقة صخرية مُدمجة أو محددة لنفاذية المياه وقد جرى العرف على تسميتها بالطبقة الصماء (Impervious layer)، لكن في الواقع قد ينفذ الماء خلال هذه الطبقة لكن بمعدلات صغيرة يحددها درجة نفاذيتها وفرق الجهد المائي فوق وأسفل هذه الطبقة، أما السطح العلوي لهذا الخزان فيكون حر

أو غير محدد، والخط العلوي لمنطقة التشبع بالمياه يسمى بخط المياه أو السطح الحر free ground - table curve or /surlace water وهو خط تقاطع النقط المتساوية في الضغط والذي عادة يساوي الضغط الجوي، وأعلى منطقة التشبع توجد منطقة التهوية (vadose zone) والتي يحدها من أسفل منطقة الخاصية الشعرية capillary fringe والتي درجة التشبع فيها تختلف من صفر أعلى منطقة الخاصة الشعرية (منطقة مياه التربة soil water) إلى 100٪ عند القاع الملاصق لخط المياه.

وفي حالة الخزان الجوفي غير المحصور فإن ضغط المياه فوق خط المياه يكون دائمًا أقل من الضغط الجوي، وفي حالة حفر بئر يصل إلى منطقة التشبع فإن الماء سيرتفع في البئر إلى منسوب قريبًا من منسوب خط المياه (الشكل:7).

وعند تقاطع خط المياه مع أي منخفض فإن المياه سوف تتسرب إلى جوانب هذا المنخفض مكونة بركة أو بحيرة وهذا ما نُطلق عليها عين (*spring*).

ب- خزان جوفي محصور (confined aquifer) ويُعرف أيضًا بالارتوازي أو الارتيزي (Artisian). وهو عبارة عن خزان جوفي محصور بين طبقتين غير منفذتين أي صماء. ويُسمى سطحه العلوي بالسطح البيزومترى. حيث إنه عند حفر بئر يخترق الطبقة الصماء العليا فإن المياه سوف ترتفع إلى مستوى الضغط الواقع على سطح المياه والذي يطلق عليه السطح البيزومتري (Piezometric surface) وهو المقدار الذي يرتفع إليه الماء في بيزومتر (وهو أنبوبة مفتوحة من نهايتيها) يصل إلى الخزان الجوفي المحصور، وارتفاع الماء (h) يكون مساويًا للضغط في قاعدة هذه الأنبوبة مقسومًا على وحدة الوزن من الماء.

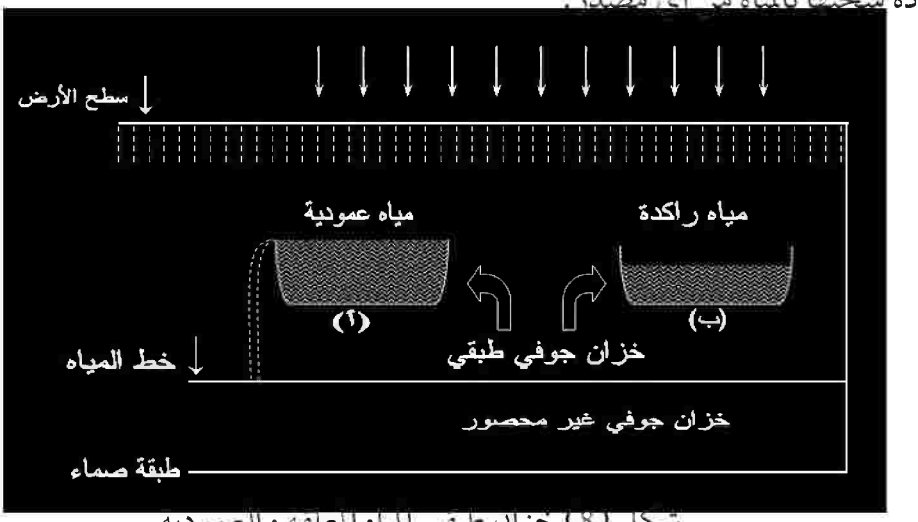
وتدفق المياه الجوفية خلال الخزان الجوفي المحصور يشبه إلى درجة ما تدفق الماء خلال ما سورة، وفي حالة إنشاء بئر ملاحظة أو بئر انتاج عند النقطة أ (الشكل:7) ستتدفق المياه من البئر طبيعيًا بدون ضخ لأن منسوب السطح البيزومتري الأصلي عند

هذا الموقع بالتحديد يكون فوق سطح الأرض، وهذا البئر يُسمى بالبئر الارتوازي أو الاريتزي المتدفق (flowing artisian well). أما في حالة البئر (ب) فإن منسوب السطح البيزومتري يكون منخفض عن منسوب سطح الأرض فيرتفع الماء ولكن لا يصل لسطح الأرض، وفي حالة الرغبة في سحب المياه من هذا البئر فإنه يلزم استخدام الطلمبة (كما هو الحال في البئر في الخزان غير المحصور)، ويسمى هذا البئر بالبئر الإرتوازي غير المتدفق أو يطلق عليه أحيانًا بالبئر تحت الارتوازي (subartisian well). وفي كل الأحوال فإن ضغط المياه خلال مسام الخزان الجوفي يكون دائمًا أكبر من الضغط الجوي، عدا في حالة استنزاف الماء إلى أسفل الحدود العليا للخزان الجوفي.

ونهايات الخزانات الجوفية تكون متصلة عادة بالبحر، وقد تغزو مياه البحر هذه الخزانات مكونة جسم مستقل من المياه المالحة. وعند استغلال المياه الجوفية في المناطق الساحلية يجب الحذر من تداخل مياه البحر إلى الخزان وهو ما يسمى بتوغل مياه البحر (Intrusion). بحيث يراعى أن يتم سحب المياه بالدرجة التي لا ينتج عنها توغل للمياه المالحة، وذلك بعدم الاستغلال المفرط للخزان وترك تصرف معين من مياه الخزان ينساب للبحر، وترك ضاغط من المياه العذبة في الخزان بارتفاع كافي حيث من المعروف أن الماء العذب يطفو فوق الماء المالح بسبب انخفاض كثافة الماء العذب مقارنةً بالماء المالح، ويفضل في حالة المناطق الساحلية إنشاء آبار ضحلة لاستنزاف المياه العذبة بقدر غير مفرط.

أحيانًا تحتجز المياه فوق تكوينات جيولوجية قليلة النفاذية في منطقة قريبة من سطح الأرض فوق منسوب خط المياه للخزان الجوفي غير محصور، بحيث يكون تسرب المياه عادة بمعدل بطيء، ويسمى الخزان الجوفي في هذه الحالة خزان طبقي aquiclude أو الـ aquitard. وهذا النوع من المياه يسمى بالمياه المعلقة *perched water* وهذه عادة مياه موجودة بصورة غير دائمة حيث تصل في النهاية إلى الخزان الجوفي الواقع تحتها كما بالشكل (8). حيث في بعض الأحيان يفيض هذا الماء من الأجناب حتى الوصول إلى

خط المياه الرئيسي وتسمى هذه المياه عندئذ بالمياه العمودية، وتستخدم في المناطق الصحراوية لامتدادات محدودة، فمثلًا كانت المياه العمودية المصدر الرئيسي للمياه لقوات الحلفاء أثناء الحرب العالمية الثانية على امتداد المنطقة الساحلية للبحر الأبيض المتوسط في صحراء مصر الغربية، ويمكن أن تكون المياه العمودية مستديمة إذا كان يتم إعادة شحنها بالمياه من أي مصدر.



شكل (8) خزان طبقي المياه المعلقة والعمودية

(أ) حجم المياه أكبر من سعة الخزان الطبقي.

(ب) حجم المياه أقل من سعة الخزان الطبقي.

ويجب حتى نحقق ظروف آمنة للخزان الجوفي عدم زيادة معدل السحب عن معدل الشحن السنوي، وهذا يتطلب أبحاثًا دقيقة عن خصائص الطبقات الحاملة والبيئية المحيطة، مع إعطاء أهمية كبرى للتغير في نوعية المياه الجوفية.

ونقصد بالسحب الآمن في حالة الخزانات الجوفية الساحلية منع توغل مياه البحر المالحة إلى هذه الخزانات الجوفية. ومياه الخزانات الجوفية قد تكون مياه أحفورية قديمة (connate or fossil water) وهي التي هاجرت ودُفنت مع الترسيبات وهي عالية في محتواها من المعادن (مياه معدنية)، وتكون من أصل بحري أو مياه عذبة، وفي بعض

الأحيان قد لا تكون معزولة تمامًا عن الدورة المائية (الـدورة الهيدرولُوجيـة)، أو يكـون أصل الخزان الجوفي من مياه جوية (أمطار) أو من مياه بحرية دخلت من ميـاه البحـر في الخزانات الجوفية الساحلية، وقد تنبع من الصخور البركانية (ميـاه بركانيـة) وهـي ميـاه درجة حرارتها عالية، وهناك مياه جوفية حديثة من أصل مغناطيسي أو كوني، وهناك مياه تحويلية وهي التي تكونت مع الصخور المتحولة.

وبالنسبة لنوعية المياه الجوفية فهي مياه ليست نقية بل تحتوي على مواد عالقة وأملاح وغازات مذابة، وهذا يتوقف على عوامل جيولوجية وبيئية عديدة وهي عادة في حالة تغـير مستمر، ويجب إجراء اختبارات كيمائية وطبيعية وإشعاعية وبيولوجية دقيقة قبـل اسـتعمال هذه المياه في الأغراض المنزلية أو الزراعية أو الصناعية، مع مقارنه نتائج هـذه الاختبـارات مع المواصفات المقبولة لاستخدام المياه، مع أخذ الحزر لمنع هذه المياه من التلوث.

وكمية ونوعية المواد المذابة في المياه الجوفية تتغير دائمًا نتيجة تفاعل هـذه الميـاه مـع المجال المحيط وخاصة نوعية المياه المتسربة إليها ونوع الـصخور التـي تـسير فيهـا الميـاه وطول مسار التدفق وفترة وجود المياه في المكان ونوع النباتات النامية في المنطقـة، وتتـأثر النوعية أيضًا بنشاطات الإنسان ومصادر التلوث المختلفة، والمياه الطبيعيـة تعنـي حالـة المياه في توقيت أول استعمال لها وأخذ العينات منها للتحاليل.

وتتأثر نوعية المياه الجوفية بالمراحل المختلفة للـدورة الهيدرولوجيـة وكميـة ونـوع الهطول الجوي ومدى احتفاظه بنقائه أثناء رحلته من الغلاف الجوي إلى سـطح الأرض، ثم تفاعل ماء الهطول مع الأرض بعد دخوله فيها وسيره عبر الـصخور المختلفـة حيـث يتسبب في ذوبان مكونات هذه الصخور وهذا يتأثر بنوع الصخور وحموضة المياه فعندما يكون الرقم الهيدروجيني (pH) للماء أكبر مـن 8.5 فمعنـى ذلـك أن الميـاه مذابـة فيهـا أملاح الكربونات، وعندما يكون الـ pH منخفـضًا فهـذا يـدل عـلى أن الميـاه التـصقت بأحماض معدنية من مصادر كبريتية أو محتويه على أحماض عضوية.

وتركيز الكيماويات في المياه الجوفية يختلف مكانيًا وزمانيًا، ففي المناطق الساحلية يصل تركيز النشادر والنترات إلى 2 ملليجرام/ لتر وتركيز أيون الكلوريد إلى 8 وتركيز أيون البوتاسيوم إلى 0.4 ملليجرام / لتر، بينما يصل تركيز الصوديوم إلى 4 ملليجرام/ لتر في المناطق الساحلية وينخفض إلى 0.1-0.3 ملليجرام / لتر بعيدًا عن الساحل.

وعندما تسقط الأمطار على الأرض فإنها تغسل معها المواد الموجودة على سطح التربة ويتغير تركيب هذه المياه في منطقة جذور النباتات نتيجة لعملية التبادل الأيوني وامتصاص جذور النباتات لبعض العناصر المعدنية، وعادة ما تكون المياه المتسربة غنية بالنترات والفوسفات والبوتاسيوم التي يرجع وجودها إلى الأسمدة والمخصبات الكيميائية المستعملة في عملية الزراعة، وتذيب المياه قدر كبير من الأملاح من الأرض يحدده نوع الصخور ونوعية المياه ودرجة الحرارة والضغط، وعادة ما تزداد ملوحة المياه مع العمق، وتُقسم المياه الجوفية (وكذلك المياه السطحية) طبقًا لدرجة ملوحتها إلى:

مياه عذبة.	مجموع الأملاح المذابة	0 - 1000	ملليجرام/ لتر
مياه منخفضة الملوحة.	مجموع الأملاح المذابة	1000 -3000	ملليجرام/ لتر
مياه متوسطة الملوحة.	مجموع الأملاح المذابة	3000 - 10000	ملليجرام/ لتر
مياه مالحه saline.	مجموع الأملاح المذابة	10000-100000	ملليجرام/ لتر
مياه شديدة الملوحة Brine.	مجموع الأملاح المذابة	أكثر من 100000	ملليجرام/ لتر

والخزانات الجوفية من الصخور النارية والبللورية تكون مياهها عادة عذبة ومحتوي الأملاح المذابة بها أقل من 100 ملليجرام/ لتر ولا يزيد عادة عن 500 ملليجرام/ لتر، ونوعية المياه جيدة في خزانات الكثبان الرملية وفي الطبقة العليا من الخزانات الجوفية الساحلية. والمياه في خزانات الحجر الرملي قد تكون غنية بأيونات

الصوديوم والبيكربونات، والخزانات من المحار قد تكون مياهها حامضية لحد ما وعالية في محتواها من الحديد والكبريتات والفلوريد، وخزانات الحجر الجيري تكون قلوية لحد ما وتحتوي أيونات الكالسيوم والماغنسيوم.

ويمكن تصنيف المياه الجوفية على أساس تركيز الأيونات السائدة أو العناصر النادرة والدقيقة، أو على أساس نسبة ادمصاص الصوديوم في حالة استعمالها في ري الأراضي الزراعية والبساتين، وتحديد مدى صلاحية المياه يحدده الغرض من الاستعمال (شرب، زراعة، وصناعة) وبالتالي يحدده المعايير القياسية المستعملة لتحديد التركيز المسموح به لوجود الأملاح الذائبة أو العناصر المحددة.

ومن المقاييس الهامة لنوعية المياه الجوفية، عسر المياه (hardness). حيث عند تسرب مياه الأمطار (خاصة الحامضية) في تكوينات من الحجر الجيري أو الدولوميت فإنها تذيب كربونات الكالسيوم وكربونات الماغنسيوم منتجة مياه جوفية عسر ويزداد العسر حتى تمام استهلاك محتوي المياه من ثاني أكسيد الكربون، والماء العسر هو الذي يحتاج لصابون أكثر حتى تحدث رغوة، أما الماء الذي يحتاج صابون أقل لإنتاج الرغاوي يسمى ماء يسر (soft water) مثل ماء الأمطار، وفي حالة الماء العسر (hard water) فإنه لا يتم إنتاج الرغاوي من الصابون حتى يستنفذ كل أملاح العسر الموجودة في الماء باتحادها مع الصابون، وسبب العسر أساسًا هو أيونات الكالسيوم والماغنسيوم، والتي مصدرها مركبات كربونات وبيكربونات الكالسيوم والماغنسيوم وكذلك الكبريتات وقد سبق الحديث عن عسر المياه في الباب الأول.